

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АТ - 86.00.00.000 ПЗ

Група АТ – 22-2

Боднар Олександр

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту

Боднар Олександр Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 653.13.07
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: Розробка шляхів удосконалення діагностики систем запалювання газових двигунів

(назва роботи)

Автомобільний транспорт

(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Криштопа Святослав Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

(підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Інститут інженерної механіки
Кафедра автомобільного транспорту
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: „Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завкафедрою АТ

_____ Гнип М.М.
„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Бакалавр _____ Боднар Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. **Тема** „Розробка шляхів удосконалення діагностики систем запалювання газових двигунів” затверджена наказом по університету від _____ № _____
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) _____ 19.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проекту: Розробити інноваційний проект дослідження свічок запалювання двигунів з газовими системами живлення. Розглянути загальні особливості будови та параметрів сучасних систем запалювання, дослідити причини виходу з ладу свічок запалювання газових двигунів та шляхи збільшення їхнього ресурсу. Дослідити методики діагностики СЗ аналізом осцилограм. Порівняти осцилограми: бензиновий та газовий двигун. Розробити удосконалені алгоритм пошуку причин відмов СЗ.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
Вступ. 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ. 2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ. 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СВІЧОК ЗАПАЛЮВАННЯ. 4. УДОСКОНАЛЕНІ АЛГОРИТМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік аркушів презентаційного графічного матеріалу:
 - 1 ТЕМА БР
 - 2 ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ
 - 3 ПАРАМЕТРИ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ
 4. ПРИЧИНИ ВИХОДУ З ЛАДУ СВІЧОК ЗАПАЛЮВАННЯ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ ТА ШЛЯХИ ЗБІЛЬШЕННЯ ЇХНЬОГО РЕСУРСУ
 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ОПОРУ ТЕПЛОВОГО КОНУСУ СВІЧОК ЗАПАЛЮВАННЯ
 - 6 ПОРІВНЯННЯ ОСЦИЛОГРАМ СПРАВНОГО ТА НЕСПРАВНОГО ЕЛЕМЕНТІВ
 - 7 МЕТОДИКА ДІАГНОСТИКИ СЗ АНАЛІЗОМ ОСЦИЛОГРАМ. БЕНЗИНОВИЙ ДВИГУН
 - 8 МЕТОДИКА ДІАГНОСТИКИ СЗ АНАЛІЗОМ ОСЦИЛОГРАМ. ГАЗОВИЙ ДВИГУН
 - 9 ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ
 - 10 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СЗ
 - 11-12 УДОСКОНАЛЕНІ АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПРИЧИН ВІДМОВИ СЗ
 - 13 ВИСНОВКИ

Керівник _____
Особистий підпис

/С. Криштопа /
Розшифровка підпису

Завдання прийняв до виконання _____

Особистий підпис

Розшифровка підпису

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Вступ.	30.04.	
1 Розділ	02.05.	
2 Розділ	10.05.	
3 Розділ	15.05.	
4 Розділ	20.05.	
5 Розділ	31.05.	
6 Розділ	03.06.	
Графічна частина (презентація).	14.06.	
Висновки. Список використаних джерел.	17.06.	
Готовність проекту до попереднього захисту	19.06.	

Бакалавр _____

Особистий підпис

Розшифровка підпису

Керівник проекту _____

Особистий підпис

/С. Криштопа /
Розшифровка підпису

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи на тему: «Розробка шляхів удосконалення діагностики систем запалювання газових двигунів» складається із 84 аркушів формату А4, на яких містяться 5 розділів, 14 таблиць, 29 рисунків.

Метою роботи є дослідження свічок запалювання двигунів з газовими системами живлення. Розглянуто загальні особливості будови та параметрів сучасних систем запалювання, досліджено причини виходу з ладу свічок запалювання газових двигунів та шляхи збільшення їхнього ресурсу. Описані способи діагностування з малою трудомісткістю й дешевим компактним обладнанням, яке може бути використане у системах бортового контролю і діагностування. Досліджено методики діагностики СЗ аналізом осцилограм. Порівняно осцилограми бензиновий та газовий двигун. Розробити удосконалені алгоритм пошуку причин відмов СЗ.

Отримана залежність опору теплового конусу іскрових свічок запалювання газових двигунів від температури при роботі двигуна; запропоновані шляхи збільшення ресурсу іскрових свічок запалювання газових двигунів.

Практична цінність роботи полягає в розробці методу діагностування іскрових свічок запалювання газових двигунів без їхнього демонтажу з автомобіля.

Ключові слова: система запалювання, свічка запалювання, іскровий розряд, шунт, газовий двигун, осцилограми.

THE ABSTRACT

Explanatory note to the qualification bachelor's thesis on the topic: "Development of ways to improve the diagnostics of ignition systems of gas engines" consists of 84 sheets of A4 format, which contain 5 sections, 14 tables, 29 figures.

The purpose of the work is to study spark plugs of engines with gas power systems. The general features of the structure and parameters of modern ignition systems are considered, the causes of failure of spark plugs of gas engines and ways to increase their resource are investigated. Methods of diagnostics with low labor intensity and cheap compact equipment are described, which can be used in on-board control and diagnostic systems. Methods of diagnostics of SI by analysis of oscillograms are studied. Oscillograms of gasoline and gas engines are compared. To develop an improved algorithm for searching for the causes of SI failures.

The dependence of the resistance of the thermal cone of spark plugs of gas engines on the temperature during engine operation is obtained; proposed ways to increase the service life of spark plugs for gas engines.

The practical value of the work lies in the development of a method for diagnosing spark plugs for gas engines without dismantling them from the car.

Key words: ignition system, spark plug, spark discharge, shunt, gas engine, oscillograms.

ЗМІСТ

с.

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ	7
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ	18
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СВІЧОК ЗАПАЛЮВАННЯ	33
4 УДОСКОНАЛЕНІ АЛГОРИТМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ	59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	70
ДОДАТКИ. ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	72

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ							
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Боднар О.			Розробка шляхів удосконалення діагностики систем запалювання газових двигунів			Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Криштопа С.І.								6	84	
Реценз.								ІФНТУНГ, АТ-22-2				
Н. контр.		Криштопа С.										
Затверд.		Гнип М.М.										

ВСТУП

В останні роки в усьому світі характерною проблемою стало підвищення цін на енергоресурси, яке, як слід очікувати, і надалі буде тривати у зв'язку з виснаженням запасів нафти. Не менш серйозно в цей час стоїть питання охорони навколишнього середовища. Йому приділяється все більша увага в розвинених промислових країнах, у багатьох з яких прийняті урядові програми, що посилюють вимоги до екологічної чистоти автомобільного транспорту.

Підтримка автомобільного двигуна в стані, що відповідає сучасним екологічним нормам, робить актуальним оперативне й достовірне діагностування елементів системи запалювання (СЗ), від стану якої в значній мірі залежать економічні й екологічні показники двигуна.

Найменш надійним елементом СЗ є іскрові свічки запалювання (ІСЗ), що вимагають заміни кілька разів за період експлуатації. Тому вони потребують особливо частого й ретельного діагностування. Для цього потрібні прості способи діагностування з малою трудомісткістю й дешевим компактним обладнанням, яке може бути використане зокрема, у системах бортового контролю і діагностування.

Свічки газових двигунів працюють в значно більш напруженому тепловому режимі, ніж у бензинових двигунів. Якщо покращити відвід тепла від свічок, то можна покращити їхній ресурс. Тому доцільно розробити метод збільшення ресурсу свічок газових двигунів.

Дуже важливо проводити діагностування та своє технічне обслуговування (ТО) і ремонт (заміну) свічок запалювання газових двигунів із оптимальною періодичністю, для встановлення якої потрібне дослідження їх експлуатаційної надійності. Тому актуальною науковою проблемою, що має в цей час теоретичний і практичний інтерес, є дослідження методів діагностування й надійності свічок запалювання газових автомобільних двигунів.

Метою бакалаврської роботи є розробка удосконалених методів діагностування елементів СЗ автомобільних двигунів, які працюють на газових паливах.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ

1.1. Бензинові та газові двигуни з системами запалювання

Аналіз джерел енергії для автомобільної техніки показав, що в даний час основним з них залишається двигун внутрішнього згоряння, що працює, як правило, на бензині, газоподібному та дизельному паливі. Здороження цих видів палива, надмірне забруднення ними довкілля та обмеженість у запасах, диктують необхідність пошуку їх заміни [1], [3-4].

Перспективним видом палива є газ. Найбільш поширені та доступні сьогодні природний газ та зріджений нафтовий. Природний газ (метан) поки не видобувається в достатніх обсягах, здатних задовольнити потреби країни, і потребує вкладень у процес його видобутку. Зріджений нафтовий газ (пропан-бутан), є побічним продуктом при видобутку та переробці нафти, що виробляється з конденсатної фракції природного газу, а також є найбільш доступним газовим паливом на сьогоднішній день.

Зростання цін на моторне паливо, що отримується з нафти, веде до збільшення собівартості продукції сільського господарства. На думку аналітиків, запасів "чорного золота" залишилося на 20-30 років, а газу вистачить на ціле сторіччя [11].

Застосування зрідженого нафтового газу, як моторне паливо у зв'язку з його невисокою вартістю та екологічністю є економічно вигідним. Це питання перебуває під контролем держави.

Відсутність необхідних грошових надходжень призвела до багаторазового зменшення закупівель нової техніки та обладнання, фізичного та морального зносу більшої частини основних засобів автопідприємств.

Раціональним вирішенням проблеми для автогосподарства є не кардинальна заміна старої техніки на нову, а переобладнання наявної, тобто встановлення газового обладнання та використання зрідженого нафтового газу як моторного палива. Недоліком застосування газомоторного палива, є затруднений запуск двигуна за понижених температур.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запуск двигуна на західних теренах України можливий, без застосування додаткових засобів теплової підготовки лише за температури навколишнього середовища не нижче за мінус 10 °С.

Сьогодні широко застосовується робота автомобілів на газовому паливі із бензиновими двигунами. Практичними дослідженнями процесу запуску автомобільного двигуна на газі (у зимову пору року) було доведено, що така їхня експлуатація значно ускладнена.

Причинами цього процесу, є зменшення швидкості поширення фронту полум'я, специфічні особливості газу та газової апаратури, які не дозволяють створити в момент запуску оптимальний склад паливної суміші [13].

Аналіз фізико-механічних властивостей зрідженого нафтового газу, існуючих технологій та засобів теплової підготовки до запуску автомобілів показав, що тепла підготовка палива до запуску двигуна гарячим повітрям, є найбільш ефективною при використанні автотранспорту у складних природничо-виробничих умовах [10].

Теплова підготовка редуктора-випарника є одним з кардинальних рішень питання полегшення запуску двигуна, при якому одночасно будуть і створені умови для запалювання палива за рахунок підвищення температури охолоджувальної рідини в редукторному випарнику, і скоротиться час на запуск двигуна в холодний період. Як теплоносій, може бути використане гаряче повітря.

1.2 Аналіз, призначення, класифікація, принципові схеми, сучасних систем запалювання бензинових і газових двигунів

Система запалення в автомобілі – це сукупність приладів та пристроїв, які забезпечують появу іскри в циліндрі, в момент, що відповідає порядку та режиму роботи двигуна. Ця система є частиною загальної системи електроустаткування. У бензиновому двигуні, займання паливної суміші здійснюється іскровим розрядом, що виникає між електродами свічки запалювання під дією високої напруги [10]-[15].

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До систем запалення ставляться наступні вимоги:

- напруга у вторинному колі має бути достатньою для пробивання іскрового проміжку свічки, забезпечуючи при цьому безперебійне іскроутворення (не менше 16 кВ при пуску холодного та 12 кВ при роботі прогрітого двигуна);
- іскра, що утворюється між електродами свічки, повинна мати достатню енергію та тривалість для займання робочої суміші
- момент запалення повинен бути строго визначеним та відповідати режиму роботи двигуна;
- робота всіх елементів системи запалення повинна бути надійною за високих температур і механічних навантажень;
- низький рівень радіоперешкод під час роботи системи.

Виходячи з цих вимог, будь-яка система запалювання характеризується такими основними параметрами: часом накопичення енергії котушкою (кут замкнутого стану контактів) – час від моменту початку накопичення енергії (конкретно в контактній системі – моменту замикання контактів переривника); в інших системах – моменту спрацьовування силового транзистора) до моменту виникнення іскри (конкретно в контактній системі)– моменту розмикання контактів переривника чи відсікання струму транзистором. Ця величина характеризує величину енергії, що накопичується котушкою.

Пробивна напруга, це - напруга у вторинному колі, в момент утворення іскри, яка є максимальною напругою у вторинному колі.

Системи запалювання розраховуються з урахуванням коефіцієнта запасу по вторинній напрузі. Це означає, що напруга, що максимально накопичується котушкою, завжди перевищує пробивну напругу в найгірших умовах роботи двигуна (може досягати 20 кВ і більше). Напруга горіння – напруга горіння електричної дуги, що встановилася у вторинному колі, після пробою електродного зазору. Ця величина значно менша за напругу пробою, і становить близько 1 кВ. Час горіння – тривалість горіння електричної дуги. Підпал паливної суміші відбувається при горінні дуги, тому визначення її характеристик дає дуже важливу інформацію щодо оцінки справності системи.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

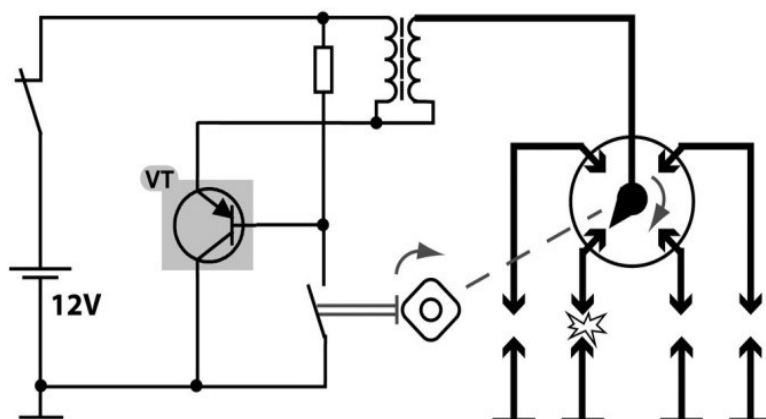
Кут випередження запалення - кут, на який встигає повернути колінчастий вал від моменту виникнення іскри до моменту досягнення відповідним циліндром верхньої мертвої точки (ВМТ). Оптимально підпалювати суміш до підходу поршня до верхньої мертвої точки в такті стискання, щоб після досягнення поршнем ВМТ газу встигли набрати максимальний тиск і виконати максимальну корисну роботу на такті робочого ходу.

Будь-яка система запалення, ділиться на дві частини:

- низьковольтне (первинне) коло – включає первинну обмотку котушки запалення та безпосередньо пов'язані з ним електричні кола ДПКВ, БУ, комутатора та інших компонентів, залежно від пристрою конкретної системи.

- високовольтне (вторинне) коло – включає вторинну обмотку котушки запалювання, високовольтні провідники, свічки запалювання.

Блок управління містить транзисторні ключі, які залежно від сигналу керування, вмикають або відмикають живлення первинної обмотки котушки запалювання.



VT – силовий транзистор.

Рисунок 1.1 - Принципова схема системи запалення з механічним переривником та транзисторним комутатором

В старих типах автомобілів використовувалась система запалювання з механічним переривником та транзисторним комутатором або без нього. Конструкція СЗ з ТК має перевагу перед переривником без транзисторного

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комутатора. Відмінність полягає у тому, що контактний переривник комутує значно менший струм. Отже, практично виключається пригоряння контактів переривника під час розмикання, відсутня потреба у конденсаторі. В іншому, система повністю аналогічна класичній системі. Обидві описані системи запалювання старих автомобілів з механічним переривником мають загальну назву – контактні системи запалювання, рис. 1.1.

1.3 Безконтактні системи запалювання

У разі безконтактної системи запалювання (БСЗ), замість механічного переривника застосовують датчик – генератор імпульсів із перетворювачем сигналів, який керує транзисторним комутатором в БУ, що у свою чергу, керує котушкою запалювання.

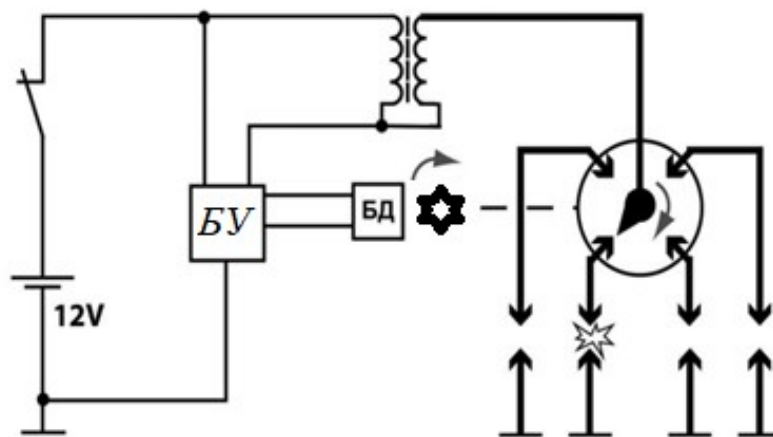
У системах запалення з транзисторним комутатором в БУ застосовують датчики трьох типів:

- датчик Холла;
- індуктивний датчик;
- оптичний.

З розвитком електроніки, коло завдань безконтактних переривників та модулів запалювання розширилося. Їхнім завданням стала зарядка котушки необхідною енергією, тобто до моменту запалення, БУ повинен передбачити необхідність розпочати зарядку котушки, щоб отримати максимальну енергію іскри та уникнути перегріву котушки. Причому, робота БУ повинна полягати у тому, щоб час заряду котушки був приблизно постійним.

Для цього, БУ обчислює швидкість обертання вала двигуна та залежно від обертів, обчислює момент замикання котушки на масу. Іншими словами, чим вищі оберти двигуна, тим раніше БУ починає процес замикання котушки на масу, але час замкнутого стану буде однаковим, рис. 1.2.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



БУ – блок управління СУД; БД – безконтактний датчик.

Рисунок 1.2 - Загальна схема системи запалювання з БУ та механічним розподілом ВВ напруги.

1.4 Системи запалювання зі статичним розподілом енергії

Системи запалення зі статичним розподілом енергії мають суттєву відмінність від вище описаних систем. У системах запалення зі статичним розподілом енергії DLI (Distributor Less Ignition) відсутній механічний розподільник. Катушки запалення безпосередньо з'єднані зі свічками запалювання, і розподіл напруги здійснюється на первинній стороні катушок запалювання.

Виключається і застосування елементів, які зазнають втрат енергії та зносу. Такий спосіб розподілу напруги застосовується у двох варіантах: з одно- і двоіскровими катушками запалювання.

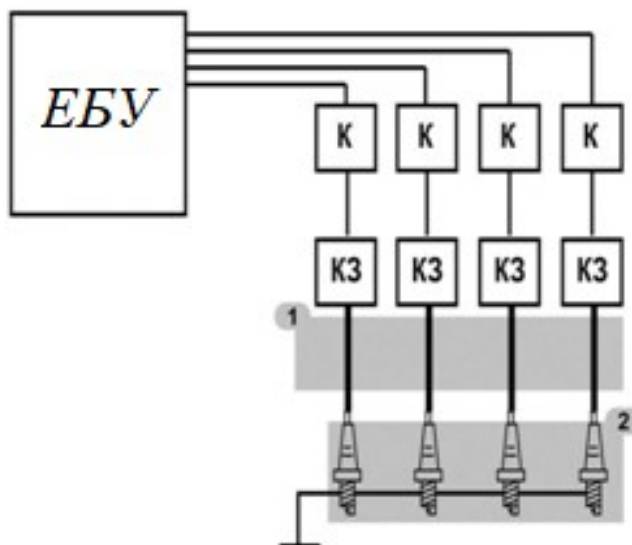
Системи з одноіскровими катушками запалювання

В одноіскровій системі, кожна свічка має свою індивідуальну катушку запалювання. Блок управління двигуном включає роботу катушки запалення відповідно до встановленого порядку роботи циліндрів.

Так, як, відсутні втрати енергії в розподільнику, ці катушки запалювання можуть бути дуже компактних розмірів. В основному вони розташовуються безпосередньо над свічками запалювання.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нерухомий розподіл напруги з одно іскровими котушками запалювання, застосовується універсально для будь-якої кількості циліндрів. Немає обмежень на діапазони регулювання випередження кута запалювання. Додатковою перевагою є те, що при виході із ладу індивідуальної котушки, перестане працювати тільки один циліндр, а система в цілому збереже працездатність. Однак тут необхідне застосування датчика обертання колінчастого валу, з метою синхронізації роботи всієї системи з частотою обертання цього валу.



1 - Високовольтні провідники; 2 - Свічки запалювання; ЕБУ – електронний блок керування двигуном; К – комутатор; КЗ – котушка запалювання.

Рисунок 1.3 – Загальна схема систем незалежного запалювання

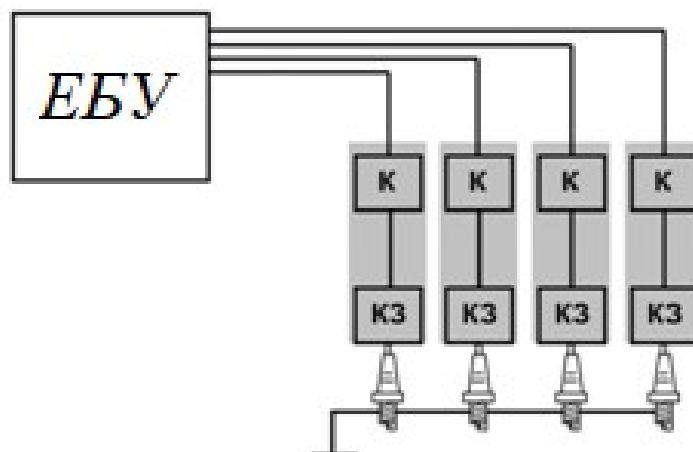
Комутатор у таких системах може являти собою один блок для всіх котушок запалювання або окремі блоки для кожної котушки запалювання, крім того, він може бути інтегрований в електронний блок керування, а також може встановлюватись окремо. Катушки запалення можуть стояти як окремо, так і єдиним блоком (але в будь-якому випадку окремо від ЕБУ), а, крім цього, можуть бути об'єднані з комутаторами, рис. 1.3 [15].

1.5 Система COP

Однією з найбільш популярних різновидів таких систем є COP система (Coil on Plug - "котушка на свічці"), у якій котушка запалювання встановлюється

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо на свічку. Таким чином, стало можливим незастосування високовольтних проводів, рис. 1.4 [14].



ЕБУ – електронний блок керування двигуном; К – комутатор; КЗ – котушка запалювання.

Рисунок 1.4 – Загальна схема системи COP

У системах із двоіскровими котушками (DIS), на кожні два циліндри відповідає по одній котушці запалювання. Тобто, виходи вторинної обмотки увімкнені до свічок запалювання різних циліндрах. Циліндри обрані так, що при такті стиску - в одному циліндрі, а у другому - відбувається такт випуску (при парній кількості циліндрів). У момент запалювання двох свічок, утворюється іскра на першому-котушка дає «робочу іскру», а інша – «холосту».

Наприклад: у класичному 4-х циліндровому двигуні в циліндрах 1 і 4, поршні займають те саме положення (обидва знаходяться у верхній або нижній мертвих точках одночасно) і рухаються синхронно, але знаходяться на різних тактах. Коли циліндр 1 знаходиться на компресійному ході, циліндр 4 - на такті випуску і навпаки, рис. 1.5 [1], [14]. Котушки запалення в системі DIS можуть встановлюватися, як окремо від свічок і з'єднуватися з ними високовольтними проводами, так і прямо на свічках (як у системі COP, але в цьому випадку високовольтні провідники використовуються для передачі розряду на свічки суміжних циліндрів), рис. 1.6.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

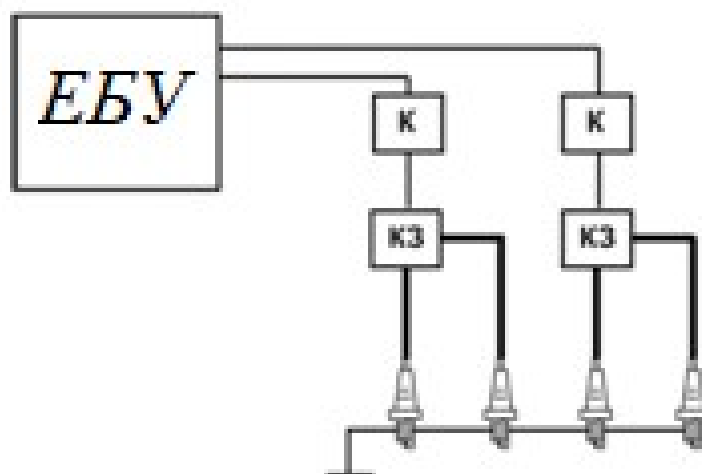


Рисунок 1.5 – Загальна схема системи запалювання DIS.

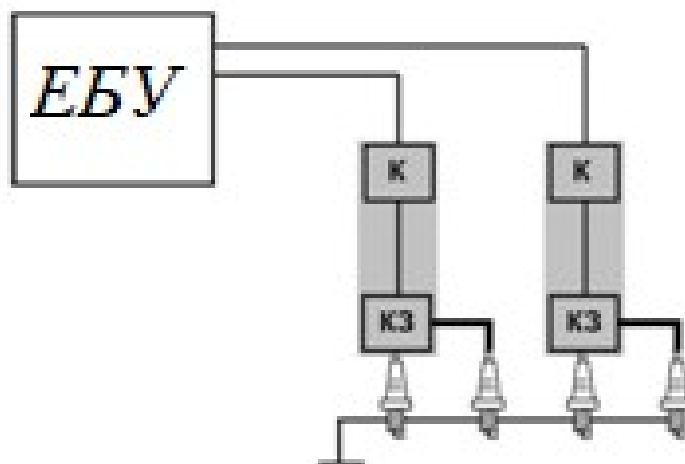
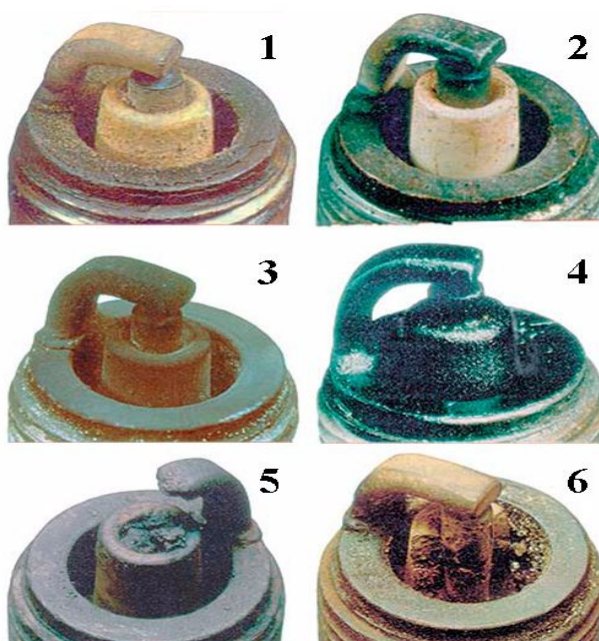


Рисунок 1.6 – Загальна схема системи «DIS-COP» [15].

Несправності в системі запалення призводять до пропусків займання паливної суміші в циліндрах, в результаті двигун не розвиває потужність, працює нестабільно, «троїт», підвищується навантаження на робочі циліндри, що веде до зменшення експлуатаційного ресурсу та збільшення витрати палива.

Свічки у системі запалювання, являються найважливішими виконавчими елементами. Вони служать для запалювання паливно-повітряної суміші у бензиновому двигуні. Цей процес відбувається у момент появи іскри між двома електродами. Їхня заміна проводиться, як заплановане технічне обслуговування автомобіля (за певного пробігу, згідно технічних норм експлуатації). На газових двигунах свічки запалювання виходять з ладу в рази частіше.

На рис. 1.7, зображено стан роботи свічок запалювання газового двигуна [9].



- 1 - Свічка оптимально підібрана під характеристики двигуна та палива;
- 2 - Перегрів свічки: білий ізолятор та окислені електроди;
- 3 - Недогрівання свічки: наліт продуктів згоряння;
- 4 - Наліт моторної оливи;
- 5 - Вигоряння центрального та бокового електродів;
- 6 - Руйнування конуса ізолятора.

Рисунок 1.7 – Стан свічок запалення газового двигуна
після 30000 км пробігу

Тобто, свічки повинні вчасно та з належною потужністю спрацьовувати на кожному повному циклі двигуна. Нормальна і м'яка робота газового двигуна, залежить від якості іскри, тобто, чим краще відбувається процес займання палива в камері згоряння, тим вищою буде потужність двигуна. Неякісна робота свічок запалювання призводить до: збільшення витрати палива, неповного згоряння (підвищений вміст CO), втрат потужності, швидкого зношування. Тому, контроль стану і своєчасна їхня заміна – одна з важливих складових періодичного ТО.

Принцип роботи свічки запалювання досить простий, в саме: на центральний електрод подається напруга 25-30 тис. вольт, внаслідок чого між ним та негативним електродом (анодом) відбувається електричний розряд - високовольтної дуги, що запалює паливо в циліндрі двигуна.

Усі модифікації та новинки свічок СЗ газових двигунів, що існують на ринку сьогодні, покликані покращити певні характеристики, але сама суть роботи свічок не змінюється.

Висновки

Аналіз сучасних систем запалювання двигунів внутрішнього згоряння показує, що невід'ємним робочим елементом якісної їхньої роботи залишаються свічки запалювання.

Повна і якісна робота свічок запалювання газового двигуна залежить від багатьох експлуатаційних факторів, особливо у момент запуску, коли двигун працює на збагаченій робочій суміші.

Доведено, що 70% експлуатаційного ресурсу свічок запалювання залежить від холодного запуску двигуна (збільшений процес відкладення неокислених вуглеводнів в місці розміщення робочих електродів).

Тому метою досліджень є розробка методів діагностування елементів СЗ автомобільних газових двигунів. Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні завдання:

- дослідити надійність елементів СЗ автомобілів в експлуатації;
- установити сукупність ознак порушення працездатного стану ІСЗ, які можуть бути виявлені за допомогою нескладного діагностичного обладнання;
- розробити методику розрахунків оптимальної періодичності заміни ІСЗ;
- запропонувати шляхи збільшення експлуатаційного ресурсу свічок запалювання газового двигуна;
- розробити методику складання оптимальних алгоритмів пошуку причин відмов СЗ на підставі відомостей про надійність її елементів.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ

2.1. Бортові системи діагностики

Одним з аспектів підвищення ефективності автомобільного транспорту є скорочення витрат на його виробництво, технічне обслуговування (ТО), скорочення простоїв і повернень із лінії через відмови, що виникли в системах і агрегатах автомобілів.

Частина відмов може бути відвернена періодичним діагностуванням, а цілий ряд так званих, прихованих відмов, може не виявляти себе явно в експлуатації автомобіля, проявляючись у підвищенні витрати палива, токсичності відпрацьованих газів та ін.

В останні роки поряд з удосконалюванням стаціонарних засобів діагностування отримали розвиток бортові системи контролю й діагностики, які відкривають нові шляхи для системи технічної експлуатації автомобільного парку. Це так зване технічне обслуговування "по стану", що полягає у виключенні планово-запобіжного ТО деяких вузлів автомобілів при постійному проведенні бортового діагностування.

Теоретичною передумовою цієї стратегії ТО є відсутність у деяких технічних об'єктів залежності між інтенсивністю відмов і наробітком. Отже, на безвідмовність цих виробів не можна позитивно впливати шляхом періодичної їхньої заміни, а в деяких випадках заміна веде до деякого зниження надійності виробу в початковий період його експлуатації.

Однак незважаючи на настільки багатообіцяючі перспективи ТО "по стану", планово-запобіжна система ТО як і раніше залишається актуальною із цілого ряду причин.

Досвід використання ТО "по стану" на двигунах військових літаків у США, показав, що основними недоліками цієї стратегії є підвищення працездатності необхідності збільшення виробничих потужностей, які пов'язані головним чином із труднощами планування обсягів ТО і номенклатури запасних частин, непередбачуваністю робочого навантаження постів ТО.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Є й інша причина, що не дозволяє відмовитися від планово-попереджувальної системи ТО. Це відсутність можливості зафіксувати передвідмовний стан об'єкта при виникненні так званих раптових відмов. При цьому навіть якщо за допомогою бортового діагностування вдається за якийсь час до відмови передбачити його ймовірну швидку появу, повернення автомобіля з лінії часто буває неминучим. У цьому випадку єдиною корисною властивістю системи бортового діагностування є можливість запобігання шкідливих наслідків для інших агрегатів і вузлів автомобіля.

Істотним з погляду надійності відмінністю між літаками, де ТО "по стану" одержує поширення й автомобілями є відсутність в автомобілі резервування більшості особливо важливих вузлів і агрегатів. Це багато в чому й визначає не зменшувану актуальність на автомобільному транспорті планово-попереджувальної системи ТО.

Основою планово-попереджувальної системи є відомості про надійність, для одержання яких потрібне проведення широкомасштабних експлуатаційних випробувань. Ці відомості можуть також застосовуватися заводами-виготовлювачами для аналізу якості своєї продукції й розробки шляхів його підвищення. Аналіз експлуатаційної надійності дозволяє виявити причини виникнення відмов (грубі порушення технології, помилки при проектуванні). Нарешті, у деяких випадках буває досить для різкого зменшення числа відмов в експлуатації, посилити умови заводських випробувань або скласти більш докладну інструкцію для експлуатації. Такі заходи дозволяють підвищити якість виробів, не прибігаючи до змін у їхній конструкції, тобто без великих матеріальних витрат. У результаті підвищується престиж виготовлювача, а його продукція користується більшим попитом.

Електроустаткування і прилади на автомобілі працюють в умовах широкого діапазону температур і атмосферного тиску, вібрації й запиленості, коливань напруги в бортовій мережі. Тому їх надійність набагато нижче в порівнянні з аналогічними приладами, що працюють стаціонарно. На автомобілях ЗАЗ відмови системи запалювання (СЗ) становлять 13,4 % від загального числа. З них

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

при пробігу 50 тис. км більше 78 % становлять відмови іскрових свічок запалювання (ІСЗ). Будучи прихованими, ці відмови до моменту свого виявлення погіршують економічні показники двигуна й викликають збільшення викиду вуглеводнів у ВГ.

Наприклад, при відмові однієї ІСЗ чотирициліндрового двигуна викид вуглеводнів збільшується на середніх навантаженнях в 18,7 рази. Одними з найбільш шкідливих речовин, які викидаються автомобільними двигунами, – вуглеводні, які проникають через дихальні шляхи в організм людини, викликаючи онкологічні захворювання.

Таким чином, регулярне діагностування та раціональна система ТО елементів СЗ, а особливо ІСЗ, дозволять знизити витрати на експлуатацію автомобілів, підвищити їхню якість, оздоровити атмосферу у великих містах.

Надійність виробів автотракторного електроустаткування нерозривно пов'язана з економікою автотракторного машинобудування та автомобільного транспорту. Практика свідчить, що недостатня надійність елементів електроустаткування автомобілів може викликати чирисі економічні збитки, пов'язані з подорожчанням обслуговування й ремонту, а головне – зі збитками через простій транспортних засобів, які відмовили.

З іншої сторони забезпечення й підтримка достатньо високої надійності вимагає значних витрат на стадіях і розробки й виробництва. Необґрунтовано високі вимоги до надійності також приводять до зниження ефективності автомобільного транспорту. Тому досить актуальним завданням науки є нормування надійності автомобільного електроустаткування.

Тим часом необхідні для цієї відомості про експлуатаційну надійність елементів електроустаткування автомобілів збираються й аналізуються в недостатньому обсязі. Розроблювачі й виготовлювачі виробів автотракторного електроустаткування не мають необхідного двостороннього зв'язку зі споживачами. Зазвичай вдається отримати дані лише про наробітки й відмови виробів лише протягом гарантійного пробігу, тобто при наробітку, що становить не більш 10...20 % від заданого ресурсу виробів. І тільки на дуже нечисленних

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

вибірках вдається отримати дані про наробітки і відмови до капітального ремонту автомобілів. Однак ці вибірки не можуть претендувати на показність.

Таким чином, дослідження надійності елементів автомобільного електроустаткування сприяють підвищенню ефективності автомобільного транспорту.

2.2. Огляд досліджень надійності елементів систем запалювання автомобілів

Надійність є одним з найважливіших властивостей виробу, що характеризує його якість. Це у великій мірі відноситься до елементів електроустаткування автомобіля, оскільки практично кожний з них впливає на безпеку дорожнього руху. СЗ в автомобілі з карбюраторним двигуном відіграє особливо важливу роль, оскільки від її справності залежать не тільки екологічність і економічність двигуна, але і сама можливість експлуатації автомобіля.

Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкта умов його застосування може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість або певні комбінації цих властивостей.

Розглянемо показники, доцільні для характеристики надійності елементів СЗ. Показники ремонтпридатності – пристосованості об'єкта до технічного обслуговування і ремонту, використовуються головним чином для порівняння різних конструкцій однотипних і, як правило, складних виробів. СЗ є в цьому сенсі відносно простими виробами. Розбірно-складальні і регулювальні роботи при обслуговуванні елементів СЗ різних моделей практично не відрізняються. Тому використання показників ремонтпридатності для характеристики надійності СЗ не представляється доцільним.

Показники збереженості характеризують властивість об'єкта зберігати свої властивості виконувати необхідні функції протягом і після зберігання та транспортування. Ці показники, дуже важливі, наприклад для гумотехнічних виробів, не становлять великого інтересу при оцінці якості більшості елементів

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

СЗ, оскільки при дотриманні правил зберігання і транспортування термін їх придатності практично не обмежений.

Таким чином, для характеристики надійності СЗ в основному достатньо використовувати наступні показники.

1. Показники безвідмовності:

- імовірність безвідмовної роботи;
- середній наробіток на відмову;
- гамма-процентний наробіток на відмову.

2. Показники довговічності:

- середній ресурс;
- гамма-процентний ресурс;
- термін служби.

Дослідження надійності виробів проводяться шляхом випробувань деякого числа виробів (вибірки) в умовах лабораторії, полігона або реальної експлуатації. Лабораторні випробування можуть бути прискореними, що дозволяє значно зменшити час, необхідний для проведення експерименту. При цьому виріб експлуатується на режимах, нехарактерних для реальної експлуатації, що викликають підвищене його спрацювання (з форсуванням дестабілізуючих впливів). Режимми прискорених випробувань розраховуються по спеціальних методиках, що дозволяють перерахувати наробітки, отримані в даному режимі до нормальних умов. Недоліками прискорених випробувань є невисока достовірність отриманих даних і значні витрати на проведення експерименту, у результаті якого виводиться з ладу значна частина випробуваних виробів.

Випробування в умовах експлуатації найбільш точно характеризують надійність виробу, оскільки в лабораторії і на полігоні неможливо повноцінно моделювати всі фактори, що впливають на спрацювання і старіння виробу.

Найбільш повним результатом досліджень надійності є одержання закону розподілу напрацювань на відмову (для ремонтованих виробів) або до відмови (для неремонтованих). Останній задається у вигляді формул або в матричному вигляді. В обох випадках задаються довірчі межі. На транспорті через

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідність надлишкової надійності звичайно задають тільки нижню довірчу межу.

Знання закону розподілу дозволяє розрахувати нормативи технічної експлуатації – оптимальні періодичності ремонту і заміни виробів. Вираження закону розподілу формулою є найбільш раціональним. Однак при недостатньому обсязі експерименту або при неможливості продовжувати експеримент до значних напрацювань, відомості про надійність можна виразити у вигляді окремих точкових значень, відповідних до досягнутих напрацювань.

Надійність елементів СЗ сучасних автомобілів є предметом постійних досліджень. Особлива увага при цьому приділяється надійності в період гарантійного напрацювання. У якості опорних баз для дослідження використовуються центри гарантійного ремонту автомобілів. Відомості про відмови за період гарантійного напрацювання систематизуються і регулярно повідомляються заводам-виготовлювачам.

Однак специфіка відмов СЗ така, що в більшості випадків подальша робота двигуна неможлива і самотійна заміна елементів, що відмовили, часто виявляється для власників більш зручною, ніж звернення на станцію технічного обслуговування, пов'язане з оплатою буксирування автомобіля, великою втратою часу і непевністю в якісному ремонті.

Тому дані імовірно позбавлені частини відомостей про відмови, які легко усуваються і не пов'язані з необхідністю заміни високовартісних елементів СЗ. Крім того становить інтерес надійність електроустаткування автомобілів і за межами гарантійного напрацювання.

Харківським автомобільно-дорожнім інститутом проводилися роботи з дослідження надійності автомобілів ЗАЗ. У них докладному аналізу були піддані відмови елементів СЗ в умовах жаркої кліматичної зони. Наведені в літературі "середні напрацювання": іскрові свічки запалювання 15,8 тис. км.

Одна з перших робіт, по дослідженню експлуатаційної надійності ІСЗ газових двигунів була проведена в 2008 р. В. А. Чистихіним.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільший інтерес представляють отримані ним залежності шунтувальних опорів на ІСЗ від складу робочої суміші і кута випередження запалювання (рис. 2.1 і 2.2). Дослідження показали, що найбільше нагару на тепловому конусі ІСЗ утворюється при $\alpha = 0,85$. При збідненні і збагаченні робочої суміші від екстремальної точки нагароутворення зменшується. Істотним виявився також вплив кута випередження запалювання. При пізньому запалюванні спостерігалось зменшення нагароутворення. Це явище В.А.Чистихин пояснює зниженням змісту окислів свинцю і зменшенням температури нагару при роботі ІСЗ у цих умовах.

В 2013 р. була опублікована робота М.М. Черкасова, який досліджував надійність ІСЗ газового двигуна. Виміри міжелектродного зазору і шунтуючого опору проводилися ним через кожні 5000 км. Після проведення замірів ІСЗ зазнавали очищенню в піскоструминному апараті і промивалися в авіаційному бензині. Наведені М.М. Черкасовим дані про швидкості наростання міжелектродного зазору становлять значний інтерес.

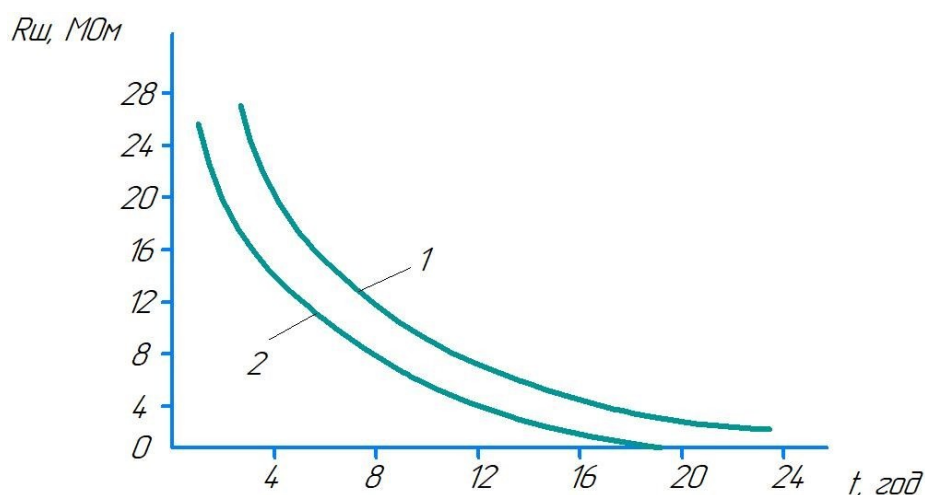


Рис. 2.1. Зміна шунтуючого опору на ІСЗ від напрацювання при різних кутах випередження запалювання
1 - KVЗ = 20°; 2 - KVЗ = 40°.

У 2000-х роках була проведена ціла серія науково-дослідних робіт з вивчення газового палива на надійність ІСЗ. М.О. Лернер в 2111 р. досліджував роботу двигуна Опель-Астра при роботі на метані. Ним було виявлено поступове накопичення нагару, що викликає зменшення потужності і перебої в роботі двигуна.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цікаво, що ці явища відбувалися в результаті утворення струмопровідних містків між центральним і бічним електродом, а не через шунтування ІСЗ по тепловому конусу.

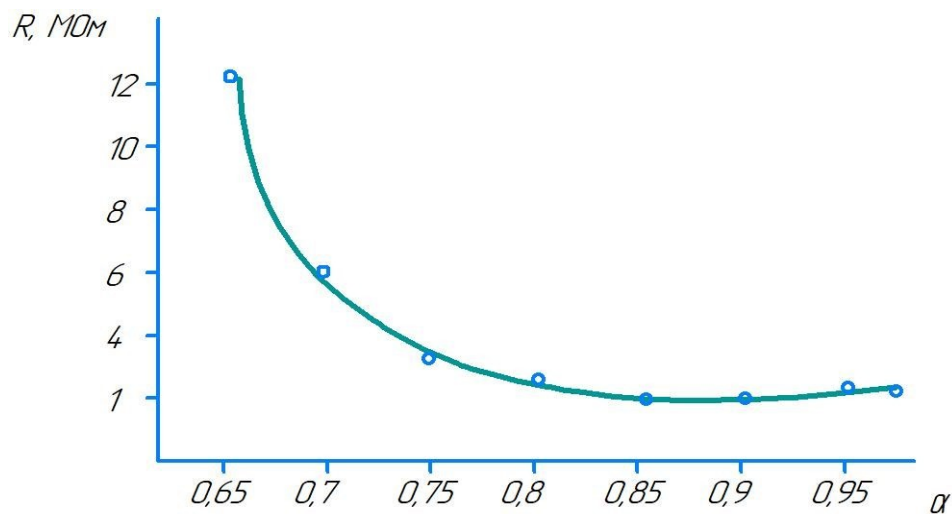


Рис. 2.2. Залежність шунтувальних опорів на ІСЗ від складу робочої суміші.

В. І. Шаховцевим в 2016 р. була проведена робота з подальшого дослідження надійності газових ІСЗ. Ним був вивчений процес зміни форми електродів і пов'язаного з ним підвищення пробивної напруги, надана класифікація видів нагару на тепловому конусі ІСЗ:

В.І. Шаховцев відзначає також, що в результаті відкладання нагару на ізоляторі відбувається деяка зміна теплової характеристики ІСЗ. Однак на його думку, існуючі уявлення про величину можливих в експлуатації шунтувальних опорів від відкладень нагару не відповідають дійсності. В.І. Шаховцев дійшов висновку, що шунтувальні опори можуть досягати значень, здатних знизити вторинну напругу, тільки при ненормальному стані двигуна, системи живлення або при неправильному виборі теплової характеристики ІСЗ.

Найбільш значним дослідженням надійності ІСЗ дотепер є роботи В.А. Набоких. У результаті проведення експерименту ним були отримані цінні дані про процес нагароутворення на ІСЗ. Для виміру значень шунтувальних опорів на ІСЗ працюючого двигуна був розроблений спеціальний прилад ІШС, що вимірює значення $R_{\text{ш}}$ безпосередньо в момент, що передуює подачі іскри на ІСЗ.

Виміри проводилися на наступних режимах роботи двигуна:

- передпусковий період;
- холостий хід з різким збільшенням і зменшенням частоти обертання колінчастого вала;
- розгін на прямій передачі з відкриттям дроселя на ділянці 500...1000м;
- міська їзда в умовах інтенсивного руху.

В. А. Набоких уперше виявив і описав явище короткотривалого падіння опорів, які шунтують ІСЗ, на перехідних режимах роботи двигуна, до величин, здатних впливати на процес іскроутворення. Виміри значень R_{III} на ІСЗ газових двигунів ЗАЗ-ЛАНОС, ЗАЗ-СЕНС і Шевроле-Авео показали, що при різких відкриттях і закриттях дросельної заслінки спостерігається короткочасне (у межах 1...3 с) зниження R_{III} до 1...3 МОм. Пояснення цього явища автор знаходить у появі на перехідних режимах у камері згоряння великої кількості альдегідів у результаті порушення процесів горіння. Кислі лакоподібні продукти, які утворюються на поверхні ізолятора, можуть до моменту свого вигорання бути провідниками електрики. Дослідженню надійності було піддано 56 автомобілів ЗАЗ-ЛАНОС і ЗАЗ-СЕНС, що експлуатувалися на газовому паливі в 2000...2012 рр. Результати досліджень (рис. 2.3) показують, що зі збільшенням пробігу автомобіля, починаючи з 70 тис. км, спостерігається ріст кількості ІСЗ (до 35 %), що мають $R_{III} < 100$ МОм (крива 1). Однак такі шунти не є істотними. Були також і випадки зниження $R_{III} < 10$ МОм (крива 2). Їхнє число досягало 10 % при напрацюванні 45 тис. км. Такі ІСЗ замінювалися, оскільки погіршували роботу двигуна.

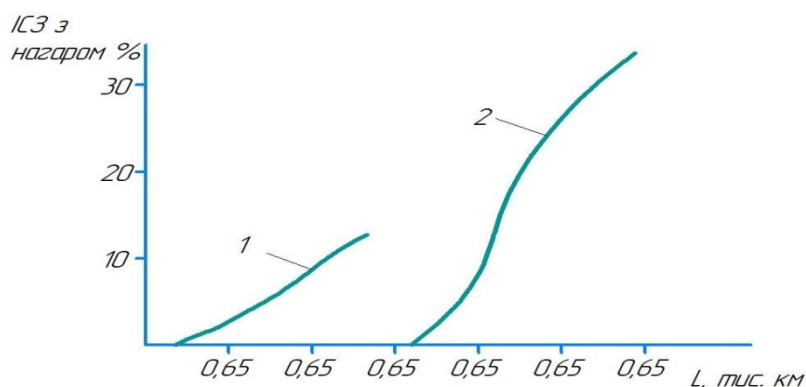


Рис. 2.3. Частота появи ІСЗ із нагаром
1 - $R_{III} < 100$ МОм; 2 - $R_{III} < 10$ МОм.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Можна припустити, що В.А. Набоких спостерігав 2 різних процеси: незначне зниження $R_{ш}$, викликане відкладанням тугоплавких продуктів згоряння і спрацювання деталей циліндро-поршневої групи і помітне зниження $R_{ш}$ у результаті роботи двигуна з неправильно відрегульованою системою живлення.

Однак оскільки виміри токсичності ВГ не проводилися, стверджувати це однозначно не можна. Відсутність даних про припустимі значення $R_{ш}$ не дозволило авторові отримати законів розподілу наробітків на відмову.

В 2013 р. К. Маледко піддав подальшому дослідженню процес спрацювання електродів ІСЗ. Ним було випробувано 424 нових ІСЗ СН432, установлені на автомобілі ЗАЗ-ЛАНОС, що постійно експлуатувалися в умовах жаркого клімату в літній період в Херсонській області. Спостереження здійснювалися до пробігу 50 тис. км.

Крім того К. Маледко було проведене дослідження надійності ІСЗ на групі з 29 автомобілів ЗАЗ-ЛАНОС, частина з яких постійно експлуатувалася з двома пасажирями, а частина – з чотирма пасажирями та завантаженим причепом. За експериментальним даними автор отримав закон розподілу напрацювань на відмову ІСЗ за критерієм спрацювання електродів, названий ним "ПО-розподілом".

У якості максимально допустимого зазору для автомобіля ЗАЗ-ЛАНОС К. Маледко прийняв 1,2 мм, оскільки при такому міжелектродному зазорі ним було виявлено збільшення витрати палива і зменшення потужності на 10...12 %. Дослідження показали, що при роботі автомобіля з двома пасажирями 62,5 % ІСЗ виходять із ладу через шунтування іскрового проміжку нагаром, а при роботі з чотирма пасажирями ця несправність практично не спостерігається. Це явище пояснюється ймовірно тим, що при роботі з чотирма пасажирями тепловий режим двигуна, а отже і ІСЗ, більш напружений.

Число автомобілів без пасажирів було у вибірці відносно невеликим, основну частину становили автомобілі, що постійно експлуатувалися з чотирма пасажирями. Через це імовірність шунтування ІСЗ була несуттєвою.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому розрахований середній ресурс ІСЗ автомобіля ЗАЗ-ЛАНОС, рівний 90,5 тис. км, може мати досить обмежене застосування через те, що ІСЗ, які вийшли з ладу через шунтування іскрового проміжку, не вважалися такими, що відмовили. В 2015 р. була опублікована робота, у якій досліджувався вплив різних експлуатаційних факторів на надійність ІСЗ двотактного двигуна 2СД-М1. Незважаючи на великі відмінності в умовах роботи двох- і чотиритактних двигунів, наведені дані становлять значний інтерес. В програму експериментів входило дослідження впливу на безвідмовність ІСЗ зольності і типу моторного масла, концентрації оливи в паливі, процентного вмісту в паливі ТЕС і калильного числа ІСЗ. Крім того був проведений хімічний аналіз нагару з ізоляторів ІСЗ і речовини міжелектродних містків.

Дослідження показали, що зі збільшенням зольності оливи інтенсивність утворення містків збільшується. Крім того був виявлений негативний вплив на безвідмовність ІСЗ кальцієвої алкілсаліцилатної присадки, що міститься в деяких сортах моторних масел. Збільшення концентрації моторного масла і ТЕСу паливі також знижували безвідмовність ІСЗ (рис. 2.4).

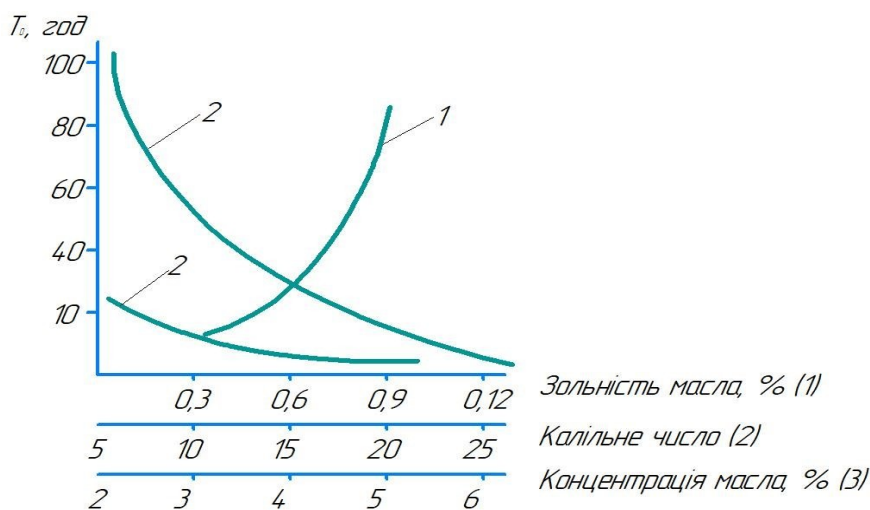


Рис. 2.4. Залежність середнього наробітку на відмову ІСЗ від калильного числа ІСЗ, зольності і наявності оливи в ЦПГ

А.Ф. Михайловим були проведені дослідження надійності ІСЗ FD-11 і Denso W20TT при експлуатації їх на автомобілях ЗАЗ-ЛАНОС і ЗАЗ-Авео відповідно. У цій роботі описані характерні причини виходу ІСЗ із ладу:

1. ЗАЗ-ЛАНОС

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- шунтування іскрового проміжку струмопровідним шаром нагару - 65,2 %;
- спрацювання електродів - 34,1 %;
- відломування бічного електрода - 0,7%;

2. ЗАЗ-Авео

- спрацювання електродів - 70,8 %;
- обрив теплового конуса - 29,2 %.

Середні наробітки на відмову ІСЗ склали для автомобілів ЗАЗ-ЛАНОС 35 тис. км, а для автомобілів ЗАЗ-Авео 38,5 тис. км. А.Ф. Михайлов не проводив обчислення законів розподілу наробітків на відмову, але наведений варіаційний ряд відмов, може бути використаний у подальших дослідженнях.

2.3. Аналіз методів діагностування іскрових свічок запалювання

Питання діагностування систем запалювання (СЗ) докладно розглядалися в роботах Блохіна О.Л., Вишнякова В.В., Махновського Е.Е., Ютта В.Е. і інших дослідників. Однак, їхня увага була в основному зосереджена на діагностуванні складних електронних приладів СЗ. Методи ж діагностування іскрових свічок запалювання (ІСЗ) дотепер розроблені недостатньо. Існуючі на сьогодні методи визначення технічного стану ІСЗ умовно можна класифікувати в такий спосіб:

1. Візуальне.
2. Діагностування за допомогою приладу Е-203П.
3. Діагностування із застосуванням еталонних осцилограм.
4. Вимір і аналіз діагностичних параметрів.
5. Комбіновані методи діагностування.

Візуальна перевірка технічного стану ІСЗ, незважаючи на те, що є високоефективною, досить широко поширена. Особливо часто цей метод застосовується водіями у відриві від автопідприємства (наприклад, у рейсі) при відсутності діагностичної апаратури. При здійсненні цього методу працездатність ІСЗ визначається по кольору теплового конуса і межелектродному зазору. Крім суб'єктивності контролю цей метод має високу трудомісткість, оскільки вимагає демонтажу ІСЗ із двигуна.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прилади перевірки ІСЗ, подібні Е-203П з'явилися ще в 60-х роках і з тих пір піддалися значним змінам: магнето з ручним приводом, що використовувалося раніше для створення високої напруги було замінено тиристорною СЗ, яка живиться від електричної мережі.

Цей метод був підданий критиці С.В. Стародубцьовим в 2005 р., дослідження якого показали значну ймовірність помилки при діагностуванні таким приладом. Діагностування ІСЗ методом еталонних осцилограм полягає в порівнянні осцилограм перехідних процесів у первинній і вторинній ланцюгах СЗ із еталонними. Оцінка технічного стану ІСЗ проводиться при працюючому двигуні, що гарантує високу достовірність діагностування.

На рис. 2.5 зображена осцилограма вторинної напруги одного із циліндрів двигуна при справній СЗ. При збільшенні зазору в ІСЗ або обриві в ланцюзі ІСЗ крива вторинної напруги набуває вигляд рис. 2.6. При цьому збільшується напруга і зменшується тривалість індуктивної фази розряду.

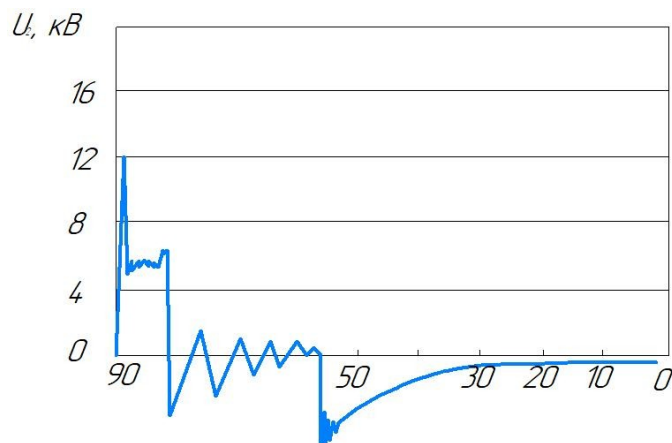


Рис. 2.5. Осцилограма вторинної напруги справної СЗ

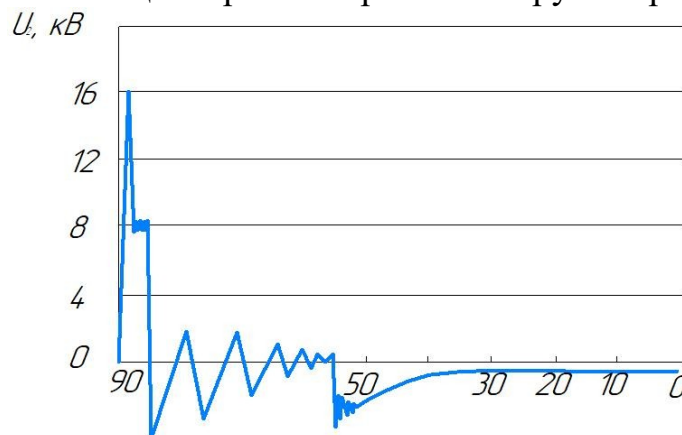


Рис. 2.6. Осцилограма вторинної напруги при збільшенні міжелектродного зазору ІСЗ

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При замиканні електродів ІСЗ або при заземленні проводу високої напруги спостерігається збільшення тривалості індуктивної фази і зменшення пробивної напруги (рис. 2.7).

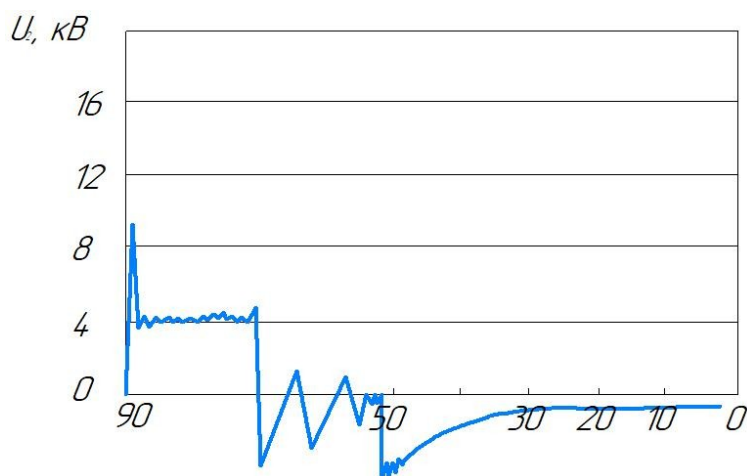


Рис. 2.7. Осцилограма вторинної напруги при замиканні електродів ІСЗ

Схожа картина спостерігається при зменшенні міжелектродного зазору і забрудненні ІСЗ. При цьому лінії піка вторинної напруги мають розриви (рис. 2.8). Наявність нагару на електродах ІСЗ викликає на ділянці горіння дуги появу загасаючих коливань у вигляді мерехтливих точок (рис. 2.9).

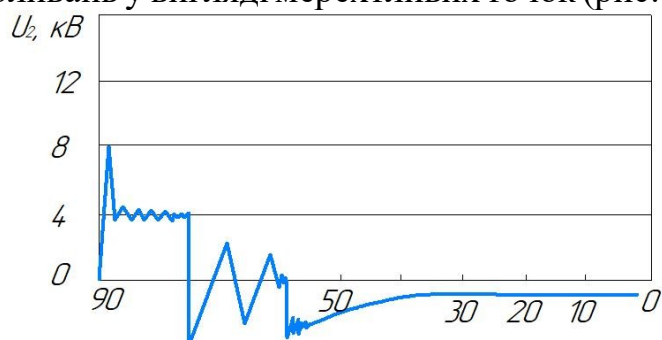


Рис.2.8. Осцилограма вторинної напруги при зменшенні міжелектродного зазору ІСЗ

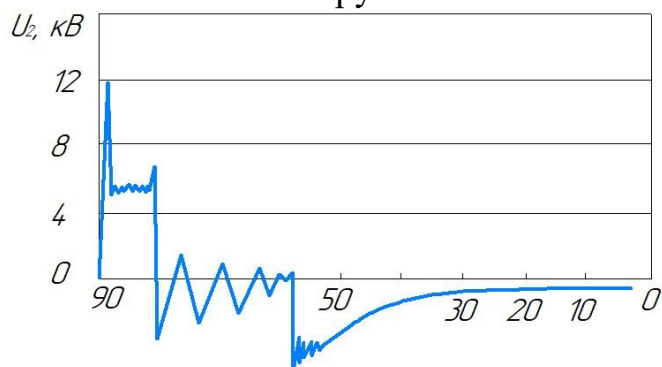


Рис. 2.9. Осцилограма вторинної напруги при наявності нагару на електродах ІСЗ

Для здійснення методу еталонних осцилограм у нашій країні випускається кілька діагностичних стендів: Е-205, ДО-461, ДО-488 і ін. До безсумнівних переваг цих стендів слід віднести зручність і швидкість діагностування, оскільки для роботи з ними не потрібно демонтувати елементи СЗ із автомобіля. Недоліками цього методу очевидно є необхідність високої кваліфікації оператора-діагноста і неоднозначність діагнозу, яка пояснюється однаковими змінами в осцилограмах при різних несправностях елементів СЗ. Крім того діагностичні стенди являють собою як правило складну дорогу апаратуру, найчастіше стаціонарну.

Вимірювання і аналіз діагностичних параметрів є найбільш перспективним методом діагностування, оскільки він не вимагає кваліфікованого оператора і легко може бути автоматизований. Цей метод може здійснюватися як на працюючому двигуні, так і при демонтажі з нього ІСЗ або проводу високої напруги.

Розробці діагностичних параметрів ІСЗ і створенню приладів для діагностування цим методом було присвячено кілька робіт, проведених у нашій країні. Розглянемо деякі з них.

В 2009 р. С.В. Ловчагіним було отримано авторське свідоцтво на спосіб випробування ІСЗ, що полягає у вимірі середнього струму розряду, який проходить через іскровий проміжок ІСЗ, поміщеної в барокамеру при різних тисках.

У це ж час В.А. Пчелін і К.Г. Волчінській запропонували пристрій, аналогічний за принципом дії приладу С.В. Ловчагіна, що вимірює струм розряду на ІСЗ працюючого двигуна. Обидва ці способи були випробувані в 2010 р. Випробування показали недостатню достовірність діагностування ІСЗ цими приладами.

Е.Е. Махновській в 2014 р. дослідив вплив опору величиною 1 МОм, шунтуючий іскровий проміжок ІСЗ і збільшення міжелектродного зазору на величини електричних параметрів перехідних процесів СЗ "Іскра". Ним були отримані дані про зміну тривалості індуктивної фази розряду τ_p пробивної

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги U_{np} і напруги індуктивної фази розряду U_d при наявності несправностей у СЗ (табл. 2.1 2.3).

Таблиця 2.1 Діагностичні параметри справної СЗ

Найменування параметра	n=500 хв ⁻¹	n=2000 хв ⁻¹
τ_p , мс	1,4	0,7
U_{np} , кВ	10	10
U_d , кВ	3,1	3,0

Таблиця 2.2 Збільшений міжелектродний зазор ІСЗ

Найменування параметра	n=500 хв ⁻¹	n=2000 хв ⁻¹
τ_p , мс	1,0	0,5
U_{np} , кВ	15	15
U_d , кВ	3,8	3,9

Таблиця 2.3 Шунтування іскрового проміжку

Найменування параметра	n=500 хв ⁻¹	n=2000 хв ⁻¹
τ_p , мс	1,3	0,5
U_{np} , кВ	8	8
U_d , кВ	2,6	2,2

В 2007 р. у ХНАДУ була проведена аналогічна робота, у якій для визначення припустимих значень діагностичних параметрів використовувалася область значень, у яку потрапили 95 % справних СЗ із числа підданих випробуванням (рис. 2.10, 2.11). Результати цих досліджень дозволяють із успіхом діагностувати елементи СЗ, але вимагають використання осцилографів, або складної мікропроцесорної техніки на рівні бортових комп'ютерів.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

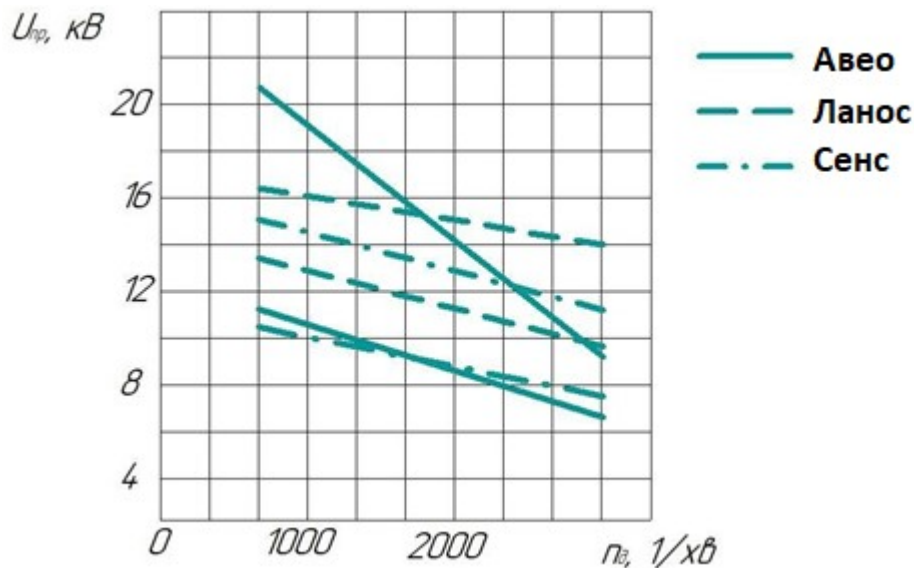


Рис. 2.10. Допустимі значення пробивних напруг

Найбільш просте діагностування ІСЗ може бути здійснене за допомогою приладу, запропонованого в 2012 р. П.Б. Башмаковим.

Діагностування ІСЗ за допомогою цього приладу проводиться при непрацюючому двигуні шляхом виміру пробивної напруги і опору ізолятора холодної ІСЗ. Це дозволяє визначити значення міжелектродного зазору і наявність струмопровідного шару нагару.

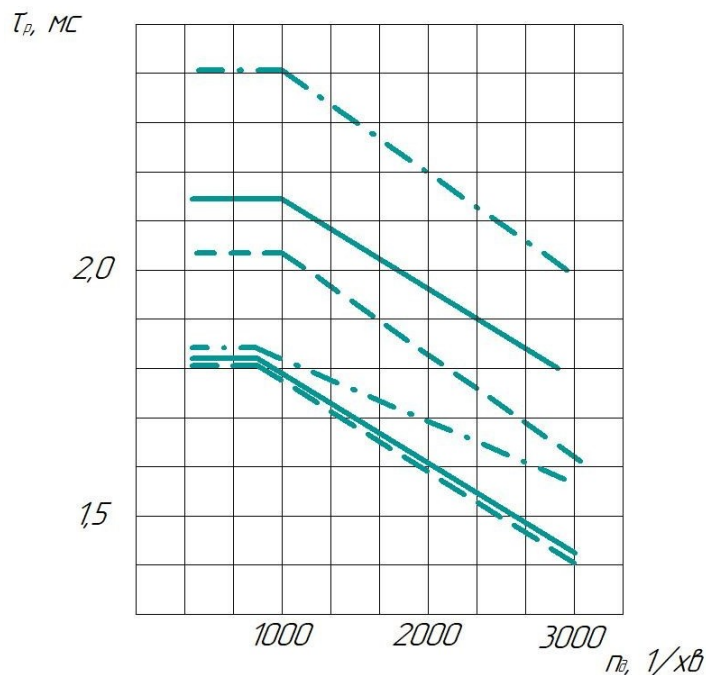


Рис. 2.11. Допустимі значення тривалості розряду

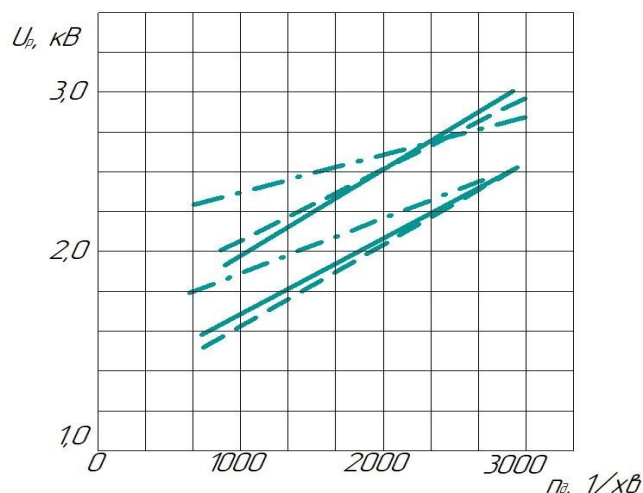


Рис. 2.12. Допустимі значення напруги індуктивної фази розряду.

Дослідження НПО "Автоелектроника" показали, що між пробивною напругою холодної ІСЗ і міжелектродним зазором є однозначна відповідність.

Таблиця 2.4 Пробивні напруги між електродами ІСЗ при атмосферному тиску і температурі 293К

Зазор, мм	0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3
$U_{пр}$, кВ	2,4 2,8 3,2 3,6 3,9 4,2 4,5 4,8 5,1

Випробування макетного зразка, проведені в 2005 р., показали, що прилад забезпечує визначення міжелектродного зазору з точністю $\pm 0,1$ мм, яку можна вважати достатньою. У той же час контроль наявності нагару за допомогою приладу Башмакова виявився малоефективним, оскільки відсутність відомостей про допустимі значення опорів нагарів не дозволили правильно вибрати межі вимірів приладу. Експериментальних робіт, присвячених визначенню критичних значень шунтувальних опорів було проведено дуже мало. Як приклад можна привести дослідження І.Н. Прокудіна для двигуна МеМЗ-245.

Паралельно справної ІСЗ одного із циліндрів ним був підключений безіндуктивний змінний опір, величина якого змінювалася від 0,1 до 3 МОм. При повністю введеному опорі двигун виводився на певний режим при різних частотах обертання колінчастого вала. Після не менше 2-хвилинної стійкої

роботи двигуна на цьому режимі опір плавно зменшувався. Відмови в роботі циліндрів фіксувалися по зміні індикаторної діаграми і характеру розрядного процесу (осцилограмі первинної напруги).

За експериментальним даними І.Н. Прокудін побудував межу стійкої роботи двигуна залежно від частоти обертання колінчастого вала (рис. 2.13).

Експерименти І.Н. Прокудіна показали, що при високих частотах обертання колінчастого вала (більш 2000 хв^{-1}) робота двигуна можлива навіть при $R_{ш}=150 \text{ кОм}$. У той же час на мінірисьних частотах обертання відмови ІСЗ можуть відбуватися вже при $R_{ш}=0,7 \text{ МОм}$.

Аналогічних досліджень по визначенню критичних значень шунтувальних опорів інших сучасних двигунів не проводилося; неясним дотепер є і те, на якому режимі слід визначати межі працездатності ІСЗ.

Проблемою при діагностуванні ІСЗ за методикою П.Б. Башмакова є також і те, що нагар має властивість змінювати в значній мірі свою електропровідність при підвищенні температури. Уперше температурну залежність опорів нагарів досліджував С.В. Стародубцев, який використовував як об'єкти спостереження ІСЗ типу ВГ-2, що пропрацювали до 50 годин на авіаційних двигунах М-105 і М-103.

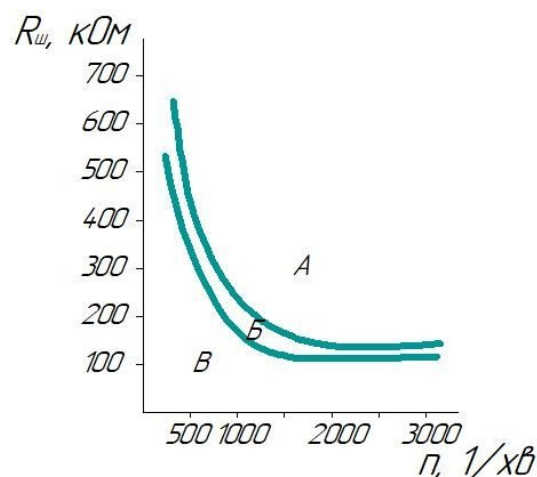


Рис. 2.13. Межа стійкої роботи двигуна МЕМЗ-245

А - зона стійкої роботи двигуна; Б - зона, у якій спостерігаються перебої; В - зона відмов циліндра.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження показали, що при температурі, що перевищує 200°C, опір нагару визначається за формулою:

$$R_2 = \exp \left(8600 \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right),$$

де R_1 – опір при температурі T_1 , МОм;

R_2 – опір – при температурі T_2 , МОм.

При температурі нижче 200°C був виявлений помітний вплив провідності наявної в нагарі води, який виражався в зміні температурної залежності. Після висушування нагару при температурі близько 200°C практично незалежно від початкового значення, його опір зменшувався в 16...20 раз.

Проведені С.В. Стародубцевим спектральний і хімічний аналізи нагару показали наступні його компоненти після випалювання вуглецю: РЬ – 85 %, Fe – 2,5...3 %, W – 0,01 %, інші елементи – менше 0,01 %. Вміст вуглецю в нагарі нерозпечених ІСЗ склало 5...20 %.

Таким чином, основною сполукою у складі нагару авіаційних ІСЗ є оксиди свинцю.

На підставі своїх досліджень, виходячи із припущення про те, що критичний опір ІСЗ при робочій температурі становить 1 МОм, С.В. Стародубцев установив наступні рекомендації з діагностування холодних ІСЗ:

$R_{ш} < 100 \text{ МОм}$ - ІСЗ несправна;

$R_{ш} > 1000 \text{ МОм}$ - ІСЗ справна.

Цими даними користувалися довгий час і автомобілісти, незважаючи на те, що в автомобільних бензинах міститься приблизно в 3 рази менше тетраетилсвинцю, чому в авіаційних. Із зменшенням сполук свинцю в нагарі варто було б очікувати помітної зміни температурної залежності. Крім того, значна кількість автомобілів у великих містах і курортних зонах експлуатується на неетильованому бензині, оскільки застосування тетраетилсвинцю в цих регіонах заборонено. Ці міркування дозволяють засумніватися в правомірності користування діагностичними параметрами.

Дуже важливим фактором у режимі пуску двигуна, коли температура ІСЗ низька, є вплив на провідність нагару вологості повітря. Поставлені С.В.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стародубцевим серйозні експерименти по вивченню цього питання показали, що при підвищенні вологості повітря відбувається помітне підвищення провідності нагару (рис. 2.14). Втім, при цьому провідність нагару по даним не досягає небезпечно великих значень.

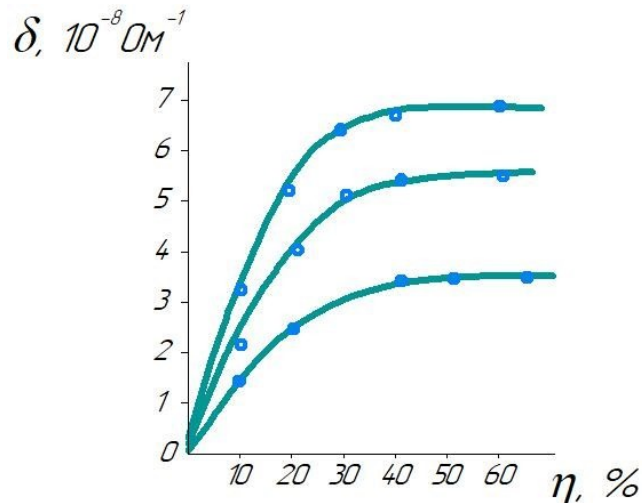


Рис. 2.14. Залежність провідності холодного нагару від відносної вологості повітря.

Застосування на нових моделях автомобілів мікропроцесорних СЗ із більшим запасом по вторинній напрузі і високою швидкістю його наростання не дозволяє беззастережно прийняти за межу працездатності ІСЗ шунтуючий опір 1 МОм.

Таким чином, перешкодою для застосування при діагностуванні ІСЗ приладу Башмакова є відсутність відомостей про критичний для роботи ІСЗ режим і температурні залежності електропровідності нагарів від автомобільних бензинів.

2.4. Аналіз методів розробки нормативів технічної експлуатації на автомобільному транспорті

Для визначення рівня працездатності рухомого складу, планування обсягів робіт, визначення необхідного числа виконавців ТО і ремонту на автотранспортному підприємстві використовуються нормативи технічної експлуатації.

До найважливіших нормативів технічної експлуатації відносяться періодичність ТО, ресурс виробу до ремонту (заміни), трудомісткість ТО і ремонту, витрата запасних частин і експлуатаційних матеріалів.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Специфіка експлуатації ІСЗ на бензинових двигунах автомобілів полягає в тому, що вартість трудомісткості ТО і ремонту невисокі, а витрати експлуатаційних матеріалів немає. Тому в якості нормативів технічної експлуатації ІСЗ слід використовувати наступні:

- оптимальна періодичність ТО;
- оптимальний ресурс ІСЗ до заміни;
- витрата запасних частин на автомобіль для автопідприємства на календарний період;
- оптимальне число ІСЗ у комплекті ЗІП.

Періодичність ТО являє собою нормативний наробіток між двома послідовно проведеними однорідними роботами ТО. Вони можуть проводитися по одному із двох розповсюджених у цей час методів:

Безпосередньо після досягнення певного наробітку.

Після досягнення певного наробітку при незадовільних результатах діагностування. В останньому випадку операція ТО складається із двох частин контрольної і виконавчої.

Доцільність застосування одного із цих методів визначається співвідношенням витрат на проведення контрольної і виконавчої частин ТО. При виборі одного із цих методів ТО ІСЗ більшу роль відіграє прийнята методика їх діагностування, оскільки, наприклад, діагностування шляхом візуального огляду по трудомісткості майже рівнозначно всьому обсягу операцій ТО, інші ж методи діагностування набагато менш трудомісткі.

Розрахунки оптимальної періодичності ТО проводиться одним з наступних методів:

- по допустимому рівню безвідмовності;
- за допустимим значенням діагностичного параметра;
- техніко-економічним методом;
- економіко-імовірнісним методом.

До переваг визначення методу періодичності ТО по допустимому рівню безвідмовності слід віднести надзвичайну його простоту за умови знання закону

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розподілу наробітків на відмову. Тоді для визначення оптимальної періодичності ТО задаються допустимим рівнем безвідмовності – імовірністю безвідмовної роботи і за відомим законом розподілу розраховують відповідний наробіток. Відповідно до рекомендацій рівень безвідмовності для агрегатів і механізмів, що забезпечують безпеку руху слід приймати рівним 0,90...0,98; для інших вузлів і агрегатів – 0,85...0,90; для кріпильних з'єднань – 0,4...0,6.

Недоліком цього методу є деяка довільність у виборі допустимого рівня безвідмовності, яка приводить до того, що обумовлений цим методом діапазон допустимих періодичностей ТО при високому рівні безвідмовності в 2...3 рази може перевищувати саме значення періодичності ТО.

Метод визначення періодичності ТО за допустимим значенням діагностичного параметра придатний для виробів, у яких спостерігається поступове спрацювання яких-небудь поверхонь (наприклад, спрацювання електродів ІСЗ під дією електрохімічної ерозії). При цьому необхідно знати закон розподілу параметра залежно від наробітку. Тоді, задавшись довірчою ймовірністю, визначають точку перетинання верхньої довірчої границі контрольованого параметра з його максимально припустимим значенням. Отримана точка показує найбільший можливий наробіток даного вузла або агрегату. В літературних джерелах рекомендується призначати періодичність технічного впливу в 1,6...2,1 рази менше, чим у середньому параметр досягне критичного стану.

Використання даного методу для визначення періодичності ТО ІСЗ не дозволяє враховувати такі характерні відмови, як утворення нагару, обрив теплового конуса та ін., що не мають властивості поступової зміни.

Техніко-економічний метод зводиться до мінімізації витрат на експлуатацію автомобіля. Цільова функція при цьому має вигляд:

$$S_{\text{ц}} = S_1 + S_2.$$

де S_1 – питомі витрати на ТО;

S_2 – втрати від несправного стану ІСЗ (збільшення витрати палива, втрати від невиходу автомобіля на лінію).

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для використання цього методу також необхідне знання закону розподілу наробітків на відмову.

Прийнята в нашій країні планово-попереджувальна система ТО не дозволяє проводити операції ТО різних вузлів і агрегатів автомобіля при оптимальній їхній періодичності, оскільки це привело б до багаторазового відволікання рухомого складу від процесу здійснення перевезень. Тому операції ТО групуються по так званих стрижневих операціях, виконання яких впливає на безпеку руху, економічність і екологічну чистоту автомобіля. Для розрахунків доцільності проведення технічного впливу на ІСЗ при найближчих від оптимальної періодичності планових ТО використовується економіко-імовірнісний метод. При цьому перевіряють, чи попадає планове ТО в зону наробітків, у якій питомі витрати при попереджувальній стратегії залишаються нижче, чим при усуненні можливої відмови. Якщо результат перевірки виявляється позитивним, то технічний вплив на об'єкт переносять у число операцій планового ТО.

Таким чином, для розробки нормативів ТО ІСЗ найбільше раціонально користуватися спільно техніко-економічним і економіко-імовірнісним методами.

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу літературних джерел можна зробити наступні основні висновки.

1. Найменш надійними елементами СЗ газового двигуна є ІСЗ. Процеси їх старіння досліджені недостатньо. Найменше вивчені причини руйнування теплового конусу газових ІСЗ.
2. Способи й засоби, які використовуються у теперішній час для діагностування ІСЗ, мають цілий ряд недоліків, таких як складність діагностичного обладнання, необхідність високої кваліфікації оператора-діагноста, велика трудомісткість діагностування.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. У цей час немає даних, що дозволяють обґрунтовано встановити критичний опір конусу ІСЗ при робочій температурі й визначити режим роботи двигуна, найбільш несприятливий для роботи ІСЗ.
4. Перешкодою для дослідження надійності ІСЗ є відсутність критерію їх відмови.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СВІЧОК ЗАПАЛЮВАННЯ

3.1 Діагностика за осцилограмою високовольтної напруги на свічці запалювання

Діагностику системи запалювання автомобіля слід проводити під навантаженням, забезпечуючи максимально можливе напруження пробою іскрового проміжку між електродами свічки. За незначних навантажень напруга пробою зазвичай не перевищує 10 кВ, а при підвищених навантаженнях, внаслідок збільшення тиску в циліндрі, напруга пробою значно зростає, і досягає кількох 10 кВ, наслідком чого, проявляється більшість дефектів ізоляції котушки запалювання, електропровідників, ковпачків та свічок запалювання.

Режимами підвищеного навантаження є запуск двигуна, різке відкриття дросельної заслінки та робота двигуна на низьких обертах під максимальним навантаженням. У цих режимах, наповнення циліндра паливоповітряною сумішшю близьке до максимального, іскроутворення відбувається тоді, коли поршень знаходиться поблизу верхньої мертвої точки. Отже, у цей момент тиск газів усередині циліндра наближається до максимального, рис.3.1

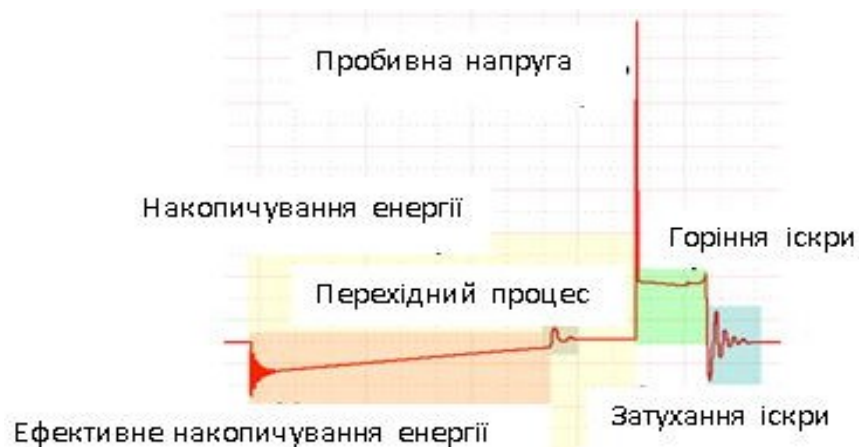


Рисунок 3.1 - Осцилограма пробивного розряду напруги вторинного кола на свічці запалювання.

На осцилограмі є чотири основні фази: накопичення енергії, момент пробою, горіння іскри, згасаючі коливання.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час накопичення енергії (заряду котушки) – інтервал часу від замикання котушки на масу і початку протікання неї струму до іскрового розряду обумовленого ЕРС самоіндукції котушки після розриву первинного кола. Перехідний процес свідчить про закінчення ефективного заряду котушки (момент насичення, обмеження струму заряду), після якого відбувається некорисне нагрівання котушки струмом заряду – відбувається процес збільшеного накопичення енергії. У деяких випадках, момент пробую наступає трохи раніше за перехідний процес (це не вважається несправністю), рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Незначний недозаряд котушки запалювання

Якщо час дозаряду котушки суттєво зменшений, це свідчить про несправності, що призводить до зменшення накопичувальної енергії у котушці, а це - скорочення часу горіння іскри. Нестача енергії може призвести до пропусків запалювання при великих навантаженнях, оскільки напруга на вторинній обмотці котушки не досягатиме напруги пробую повітряного зазору свічки, рис. 3.3.

Пробій виникає при розмиканні первинного кола котушки запалювання. При цьому, в ній виникає напруга самоіндукції, що призводить до швидкого зростання напруги у вторинній обмотці. Напруга збільшується доти, доки не перевищить напругу пробую на свічці запалювання. Тривалість пробую становить близько 10-20 мкс.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пробивна напруга залежить від проміжку між електродами свічки та від діелектричних властивостей середовища. За атмосферного тиску, сухе повітря пробивається при напрузі близько 30 кВ/см. При підвищенні тиску та зменшенні вмісту палива у суміші напруга пробою зростає.



Рисунок 3.3 – Значний недозаряд котушки запалювання.

Ділянка горіння іскри - свідчить про протікання постійного струму в зазорі свічки. Напруга горіння становить близько 1-2 кВ. Час горіння для всіх циліндрів має бути однаковим і складає межі від 1-1,5 мс до 2-2,5 мс, залежно від типу системи.

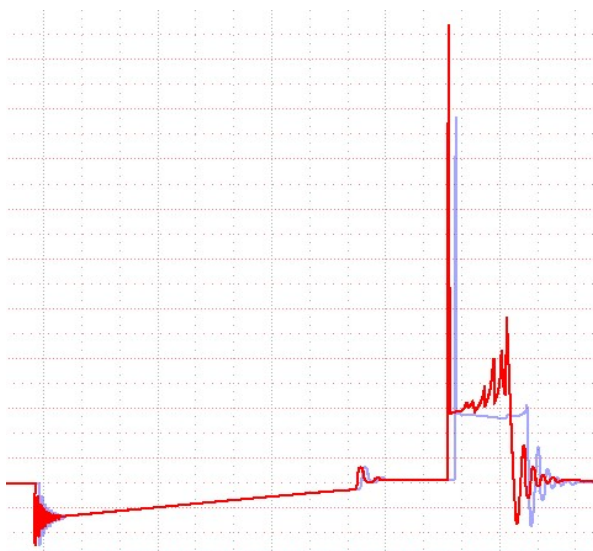


Рисунок 3.4 – Осцилограма за збільшеного зазору на електродах свічки (підвищена пробивна напруга).

Накопичена енергія у котушці забезпечує пробивання іскрового зазору свічки та підтримує горіння іскри. Чим вища пробивна напруга, тим менша тривалість горіння іскри, відповідно, нижча ймовірність запалювання палива. І навпаки: при низькій напрузі пробою, час горіння збільшується, але це свідчить про зменшений зазор у свічці та зниження взаємодії іскри з паливною сумішшю, що також призводить до зниження ймовірності підпалювання палива, рис. 3.4.

На холостому ходу, дана осцилограма засвідчує про збільшений зазор на свічці. Необхідна напруга пробою збільшується. Більшість енергії витрачається на генерацію підвищеної пробивної напруги. Це призводить до значного зменшення тривалості горіння іскрового розряду, зменшення надійності займання паливо повітряної суміші.

Режим підвищеного навантаження бензинового двигуна

Під час роботи двигуна в умовах високого навантаження, збільшений зазор між електродами свічки запалювання, може стати причиною пробою недостатньо міцної або пошкодженої високовольної ізоляції елементів системи запалювання. У такому випадку, іскроутворення відбуватиметься поза камерою згоряння, що виключає ймовірність надійного іскроутворення, рис. 3.5



Рисунок 3.5 – Режим підвищеного навантаження

Дана записана осцилограма (за підвищених навантажень двигуна) свідчить про нормальну роботу системи запалювання.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На ділянці горіння іскри можна спостерігати множинні "зриви" напруги горіння іскри у вигляді "пили", що виникають внаслідок "здування" іскри вихровими та турбулентними потоками газів усередині камери згоряння. Пояснюється це тим, що при відкритті дросельної заслінки в циліндр надходить більше повітря, а через збільшення швидкості поршня і тиску в результаті процесу горіння, необхідна все більша напруга для підтримки протікання струму.

Внаслідок збільшення значення напруги пробою та середнього значення напруги горіння іскри під час роботи двигуна під високим навантаженням, тривалість горіння іскрового розряду зменшується.

Режим підвищеного навантаження, пробій ізоляції

Під час високих навантажень на двигун, коли форма осцилограми напруги горіння така співпадає з формою на холостому ході - це свідчить про пробій у ізоляції за межами камери згоряння. При цьому, порівняно з роботою двигуна на холостому ході, дещо збільшуються напруга пробою і напруга горіння іскри, але зменшується її час горіння, рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Режим підвищеного навантаження (несправність).

Пробоями високовольтної ізоляції елементів системи запалювання, що найчастіше зустрічаються поза камерою згоряння:

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- між високовольтним виводами котушки запалення та одним із виводів первинної обмотки котушки або "масою";
- між високовольтним проводом та корпусом двигуна;
- між кришкою розподільника запалювання та корпусом розподільника;
- між "бігунком" розподільника запалення та валом розподільника запалення;
- свічкового ковпачка, між наконечником високовольтного провідника та корпусом двигуна;
- поверхневий пробій керамічного ізолятора свічки запалювання внаслідок відкладення на ізоляторі струмопровідних забруднень;
- поверхневий пробій внутрішньої поверхні свічкового ковпачка (стікання заряду внутрішньої поверхні ізолятора), внаслідок відкладення на ковпачку струмопровідних забруднень;
- всередині керамічного ізолятора свічки запалювання між центральним провідником та її корпусом (утворення в ізоляторі тріщини).

Занижена компресія та зменшений свічковий зазор

Істотне зниження компресії у одному циліндрі двигуна, призводить до того, що в момент іскроутворення, тиск газів в камері згоряння недостатній. І для пробією іскрового проміжку, необхідна менша напруга. Форма імпульсу запалення при цьому практично не змінюється, але знижується пробивна напруга, рис. 3.7

Різниця між пробивною напругою, що підводиться до справних свічок запалювання і до свічки зі зменшеним іскровим проміжком стає більш істотною при роботі двигуна під високим навантаженням. При такій несправності при переході з режиму холостого ходу на режим підвищеної потужності збільшення напруги пробією не спостерігається або спостерігається незначно, рис. 3.8.

Форма ділянки горіння іскрового розряду при цьому відрізняється не суттєво, може спостерігатись лише незначне збільшення тривалості горіння іскрового розряду.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 – Осцилограма за зниженої компресії.



Рисунок 3.8 – Осцилограма за зменшеного зазору і навантаження на двигун (несправність).

Вплив руйнування ізолятора свічки запалювання газового двигуна зі сторони камери згоряння

За відсутності різкого падіння напруги в кінці горіння, свідчить про тріщини від перегріву ізолятора свічки газового двигуна (що призводить до витoku струму та втрати енергії горіння іскри). Напруга пробою при цьому знижується. Значення напруги горіння іскри у початковий момент, практично досягає значення напруги пробою, а до кінця горіння, може знизитися до дуже малого значення, рис. 3.9.

Кількість загасаючих коливань може помітно зменшитися, або загасаючі коливання можуть бути відсутніми.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

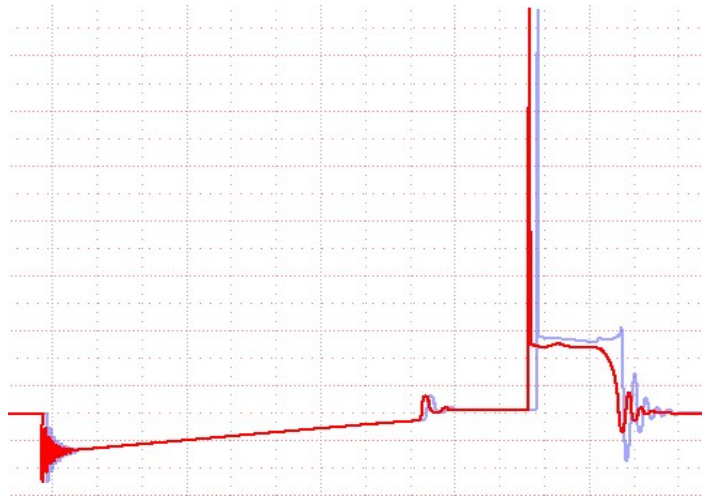


Рисунок 3.9 – Вигляд осцилограми свічки газового двигуна з тріщинами від перегріву ізолятора свічки.

Найчастіше несправність проявляється не постійно, тобто поверхневі струми можуть чергуватись з нормальним іскроутворенням між електродами свічки запалювання.

За високого опору високовольтних провідників газового двигуна створюється додаткове падіння напруги на вході до свічок запалювання. Максимальне падіння напруги у електропровіднику спостерігається на початку горіння іскри і поступово зменшується. Це призводить до зменшення часу горіння та енергії іскри. Напруга пробою залежить від величини опору високовольтного провідника, рис. 3.10.



Рисунок 3.10 – Форма осцилограми, за збільшеного опору високовольтного провідника газового двигуна.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір високовольтного провідника, може бути збільшеним внаслідок окислення його контактів, старіння або вигорання провідного шару високовольтного елемента газового двигуна або внаслідок використання надмірної довжини високовольтного провідника.

Напруга пробою за обриву високовольтного провідника може досягати максимальної напруги котушки. При цьому вся енергія, накопичена в котушці, витрачається за межами циліндра, отже не призводить до запалювання робочої суміші, рис.3.11.

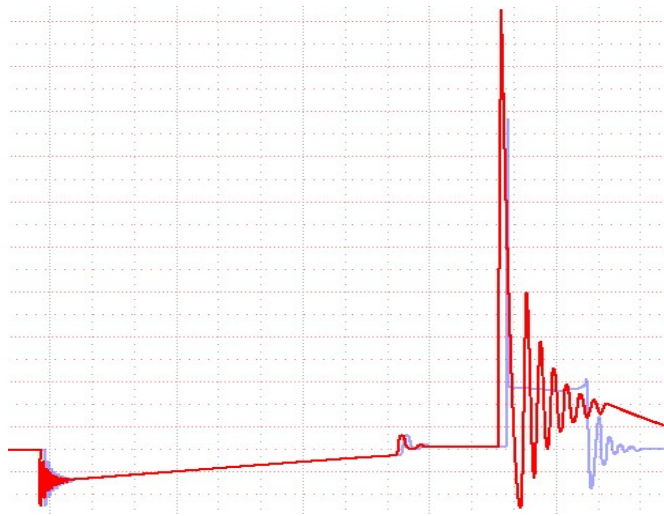


Рисунок 3.11 – Форма електричного розряду, за обриву високовольтного провідника газового двигуна

Напруга пробою може досягати максимальної напруги котушки. При цьому, вся енергія накопичена у котушці, витрачається за межами циліндра, що не призводить до запалювання суміші.

При слабкому прояві чи відсутності загасаючих коливань наприкінці фази горіння іскри, трактується, як несправність конденсатора (для класичної системи запалювання) чи котушки запалення. Індуктивність котушки та ємність конденсатора утворюють коливальний контур. Швидкість гасіння коливань залежить від добротності коливального контуру, рис. 3.12

Конденсатор присутній лише у класичній системі запалювання. У системах, керованих електронікою, конденсатор відсутній. У цих системах як ємність коливального контуру виступає міжвиткова ємність котушки.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

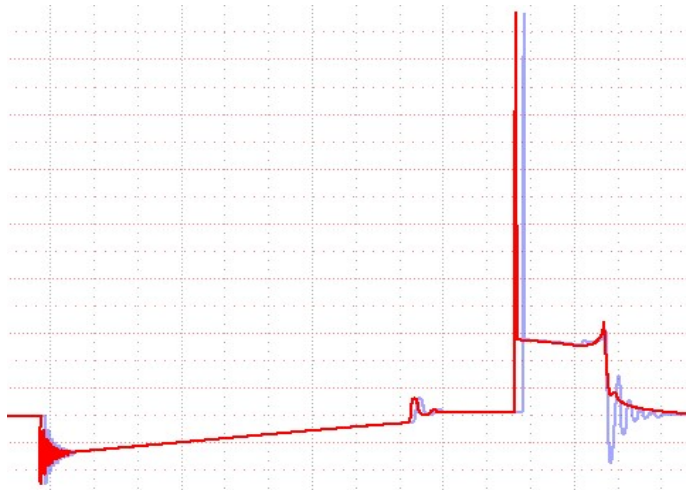


Рисунок 3.12 - Несправність котушки запалювання (відсутній згасаючий електричний імпульс).

Паразитний іскровий розряд між витками котушки запалювання відбирає частину енергії у корисного розряду в іскровому проміжку свічки запалювання. Зі збільшенням навантаження на двигун, частка енергії, що відбирається - збільшується. Крім того, істотно знижується і максимально можлива вихідна напруга, що розвивається котушкою запалювання. Слід зазначити, що за пробою міжвиткової ізоляції обмоток котушки запалювання, не позначається на роботі двигуна на холостому ході і при малих навантаженнях, але призводить до затрудненого запуску двигуна.

Забруднення свічкових електродів

Забруднення поверхні електродів спостерігається у зашумленому сигналі іскри, незначному збільшенні напруги, а також зменшенні часу горіння іскри, рис. 3.13.

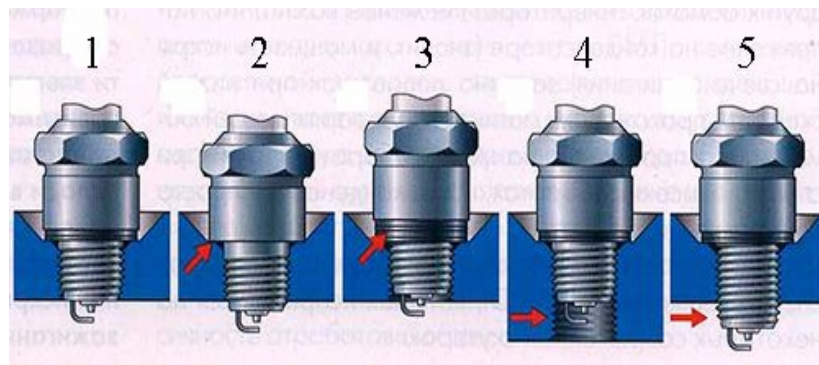
Поверхня електродів та керамічного ізолятора свічки запалювання з боку камери згоряння може забруднюватися внаслідок відкладення сажі, олії, залишків присадок до палива та від присадок до олії (відкладення з'єднань свинцю, з'єднань заліза тощо). У таких випадках колір керамічного ізолятора свічки запалювання камери згоряння певним чином змінюється. Особливо даний процес накопичення забруднень, відбувається під час запуску холодного двигуна.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.13 – Форма осцилограми, за забруднення свічкових електродів

Також слід відмітити, що досить часто відбуваються випадки, коли експлуатаційники, не дотримуючись технічних вимог неправильно підбирають чи встановлюють газові свічки запалювання - рис. 3.14.



1 - правильно встановлена свічка; 2 - відсутнє кільцеве ущільнення; 3 - встановлено два ущільнювальні кільця; 4 - різьбова частина надто коротка; 5 - різьбова частина занадто довга

Рисунок 3.14 – Неправильний підбір і встановлення газової свічки запалювання

Для заміни і правильного встановлення свічок запалювання, необхідно послідовно проводити наступні операції:

1. Від'єднати від акумулятора мінусову клему.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Вимкнути контактні провідники, ретельно позначаючи їх порядок маркером або будь-яким іншим способом.
3. Обережно послабити ключем та викрутити свічки запалювання.
4. Оглянути свічки (зовнішній вигляд – показник їхньої працездатності).
5. Правильно встановити нові свічки, дотягнувши відповідним ключем.
6. Під'єднати необхідні високовольтні провідники, дотримуючись порядку роботи циліндрів.

3.2 Результати експлуатаційних досліджень

Дослідження надійності елементів систем запалювання (СЗ) легкових автомобілів з газовими двигунами проводилося шляхом діагностування автомобілів в умовах СТО Starter-IF, м. Івано-Франківська. Використовувалася наступна методика опитування водіїв: пропонувався список питань, що включає відомості про марку автомобіля, його пробігу і році випуску, числі власників, режимі експлуатації, удосконаленнях, внесених власниками в конструкцію СЗ, відмовах, які виникали у СЗ і відповідні їм напрацювання.

Найбільш точні, відомості про наробітки до відмови отримані від водіїв автомобілів, що мають пробіг до 50 тис. км. Похибка, з якою вони вказували наробітки до відмови рідко перевищувала 5 тис. км, а приблизно в 80 % випадків була не більше 1 тис. км. При пробігу, що перевищує 50 тис. км. точність, що вказуються даних помітно знижувалася і становила від 5 до 10 тис. км. Відомості про відмови, точність яких викликала сумнів в самого водія не включалися ні в число наробітків до відмови, ні в число цензурованих наробітків. Не були включені у вибірку також показання водіїв, що не знають назв елементів СЗ і тому не здатних відповісти на запитання анкети (таких виявилось не більш 1 %). Водії автомобілів, що належать організаціям, рідко могли вказати точно значення наробітків до відмови і тому їх відомості здебільшого також не могли бути використані.

Виміру шунтувальних опорів іскрових свічок запалювання (IC3)

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводилися мегомметром Ф 4102/1. Вимірювальна напруга становила 1000 ± 50 В. Температура ізоляторів ІСЗ становила 343 ± 10 К. Виміри проводилися тільки на ІСЗ нових автомобілів ЗАЗ, якщо вони не замінювалися. У цих же автомобілів проводився вимір токсичності відпрацьованих газів (ВГ) відповідно до вимог. Виміри токсичності ВГ проводилися газоаналізаторами Infracit. Обидва газоаналізатори належали ІФНТУНГ і вчасно пройшли перевірку. Виміри були проведені на 50 ІСЗ автомобілів з газовими двигунами, що мали пробіг від 120 до 274 тис. км з 2010 по 2025 років випуску. Транзисторні комутатори та блоки управління автомобілів включалися у вибірку без обліку їх заводу-виготовлювача.

На автомобілях було зареєстровано 67 відмов різного характеру СЗ. Найбільш надійними елементами СЗ виявилися модулі запалювання, розподіли відмов елементів СЗ апроксимуються законом Вейбулла (3.2), параметри яких наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Параметри розподілу Вейбулла

№ п/п	Елемент СЗ	m	L_0
1	Вимикач запалювання	0,94	598
2	Модуль запалювання	2,09	214
3	Дроти високої напруги	1,70	203
4	Датчик ПКВ	0,53	753
5	Низьковольтні дроти	0,74	666
6	Датчик РВ	1,86	385
7	Свічки	1,46	217
8	ІСЗ (без ТЕС)	2,49	68
9	ІСЗ (з ТЕС)	2,67	51
10	Нагар на ССЗ (з ТЕС)	1,31	360

У такий спосіб на пробігу до 120 тис. км елементи СЗ можна умовно згрупувати в такий спосіб.

Виробу з помітно зростаючою інтенсивністю відмов (старіючі): модуль запалювання, дроти високої напруги, датчик ПКВ, датчик ПРВ (рис. 3.15, 3.16). Виробу зі зменшуваної в міру збільшення наробітку інтенсивністю відмов: перешкодоподавляючий резистор і модуль (рис. 3.17, 3.18).

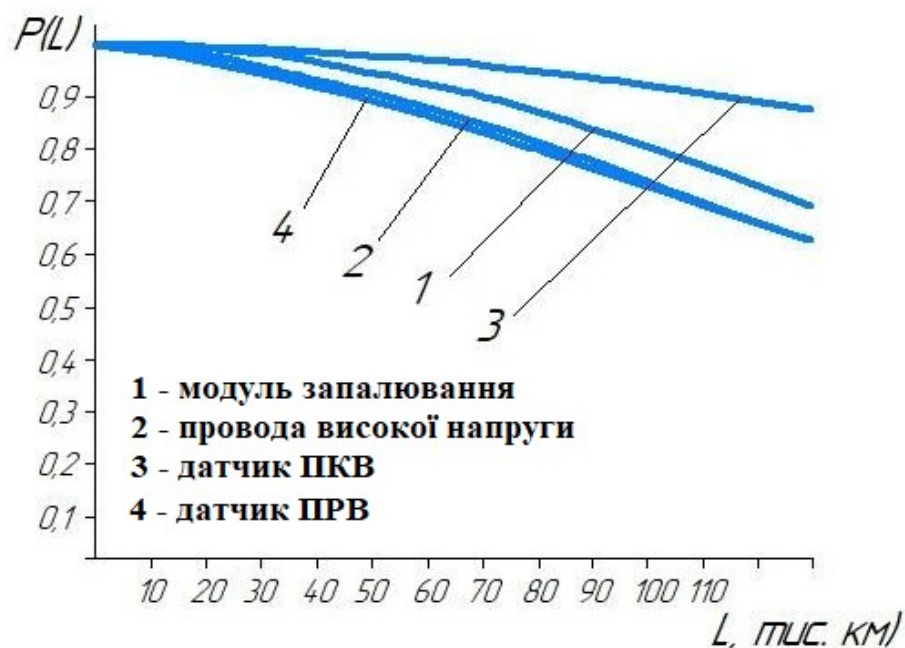


Рис. 3.15. Імовірність безвідмовної роботи елементів СЗ

Слід вважати, що значне число відмов перешкодоподавляючого резистора в початковому періоді експлуатації пояснюється порушеннями технології їх виготовлення. ВВ провід же очевидно, виходить із ладу безпосередньо після відмови перешкодоподавляючого резистора в результаті різкого збільшення вторинної напруги.

Дослідження показали, що ІСЗ, що експлуатуються постійно на неетильованому пальному і при складі ВГ, відповідно, практично не мають опору нагару на тепловому конусі свічки нижче 5600 МОм, що представляє по наших розрахунках критичне значення. Порушення ж вимог стандарту приводить до помітного збільшення нагароутворення.

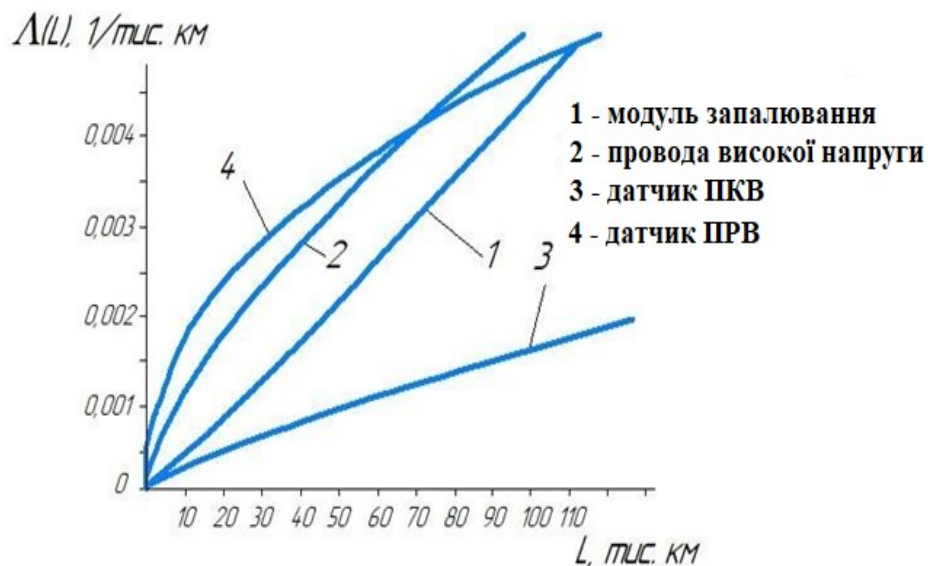


Рис. 3.17. Інтенсивність відмов елементів СЗ

Виміри, де автомобілі експлуатуються на паливі із вмістом ТЕС, не виявили зв'язки між токсичністю ВГ і опорами нагарів. У той же час при токсичності ВГ, що не перевищує діючі нормативи тут зустрілися численні випадки неприпустимо низької величини опору нагару на тепловому конусі ІСЗ.

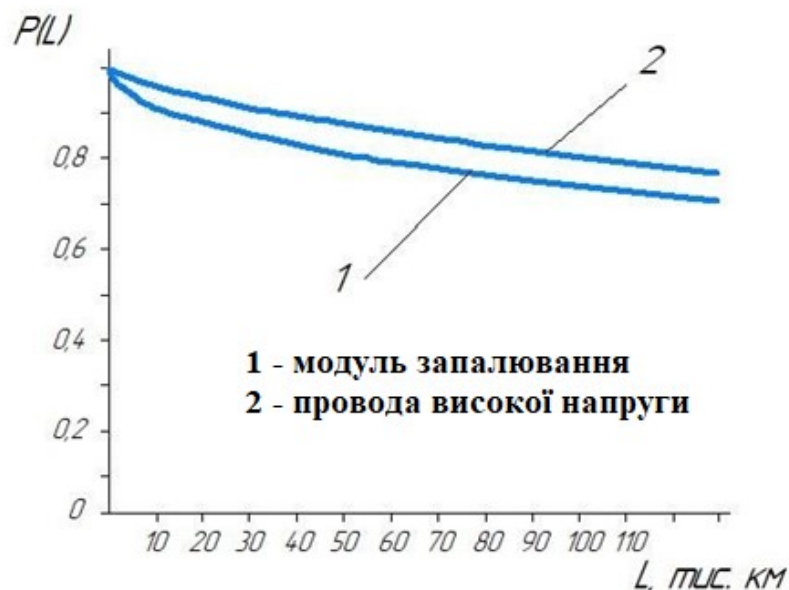


Рис. 3.18. Імовірність безвідмовної роботи елементів СЗ

Тому при обробці отриманих даних наробітки неправильно відрегульованих двигунів, що працювали на паливі без змісту ТЕС, не враховувалися.

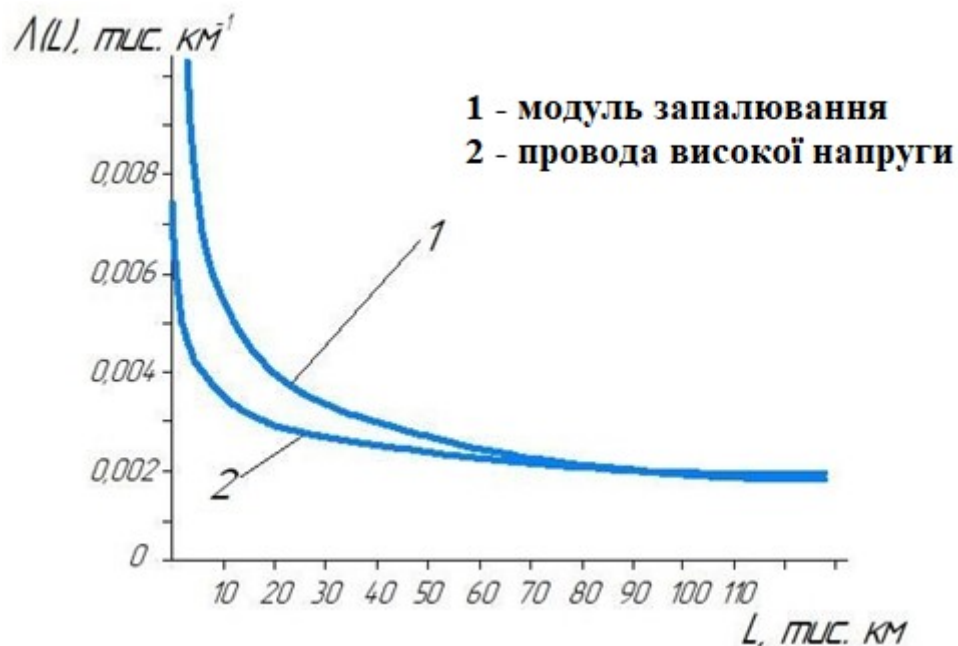


Рис. 3.19. Інтенсивність відмов елементів СЗ

Середній наробіток двигунів обстежених автомобілів в Івано-Франківську склав 23,4 тис. км. Це дозволяє припустити, що виявлені численні випадки утворення нагару на ІСЗ при роботі їх з етильованим бензином пояснюються саме властивостями палива, а не спрацюванням циліндро-поршневої групи. Інтенсивність відмов, викликаних нагаром, мало змінюється із плином наробітку. Це, імовірно, пояснюється тим, що нагароутворення не пов'язане зі спрацюванням і якими-небудь деградаційними процесами в ізоляторі ІСЗ.

3.3 Лабораторні дослідження електричних властивостей теплових конусів іскрових свічок запалювання

3.3.1 Методика лабораторних досліджень

Основною метою даного дослідження було дослідження залежності електропровідності нагару на ізоляторах ІСЗ від температури при різних початкових опорах. У такий спосіб експеримент є двухфакторним і застосування теорії математичного планування багатфакторного експерименту дозволило значно скоротити обсяг експериментальних робіт.

Однак зібрати достатнє число ІСЗ із необхідним вихідним опором нагару не вдалося, тому дослідженню були піддані всі ІСЗ, з якими ми ризикуємо можливість проводити дослід.

У результаті експериментальні дослідження були проведені традиційним методом координатної релаксації, який полягає у варіюванні одного фактора при фіксуванні іншого на постійних рівнях. При цьому основне завдання планування експерименту полягає у визначенні необхідного числа дослідів і їх повторюваностей, що дозволяють одержати достовірний результат.

При призначенні числа дослідів виходили із припущення, що в досліджуваних межах криві функціональних залежностей мають просту форму і мають не більш одного екстремуму. Це дозволило прийняти у всіх експериментах однакову кількість дослідних точок варіювання температури, рівне 7. Усі ІСЗ зазнали нагрівання в електричній печі, куди вставлялася тільки їх вкручувана частина. При цьому проводилося одночасне вимірювання температури і електричного опору між контактною голівкою і корпусом ІСЗ.

Вимірювання опору проводився мегомметром Ф4102/1 ТУ 25-0413-0071-83. Вимірювальна напруга становила 1000±50 В. Погрішність вимірів мегомметра в різних діапазонах вимірювань наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Похибка вимірювань мегомметра

Діапазон вимірювання, МОм	Ділянки діапазону з відносною погрішністю, не менш МОм	
	менш 15%	менш 30%
0...300		0,3...300
0...20000		300...10000
0...2000		75...1000
0...20000		750...10000

Вимір температури проводився за допомогою термопари типу "хромель-алюмель", вбудованої в ІСЗ (рис. 3.20), що працює в парі з мілівольтметром

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулюючим типу Ш4501,. Погрішність вимірів мілівольтметра не перевищувала 1,5 % від діапазону вимірювань.

Вимірювання опору проводилися при температурах 293 К, 373 К, 473 К, 573 К, 673 К, 773 К, 903 К. З метою зменшення впливу інерційності термопари, кожна задана температура витримувалася в протягом 10 хв. Встановлення рівнів варіювання температури проводилася з використанням рандомізації по таблиці випадкових чисел. Повторність дослідів була прийнята рівною 2. Перед проведенням експерименту здійснювалося прожарювання ІСЗ при температурі 800...900 К для видалення речовин у складі нагару, які легко розкладаються.



Рис. 3.20. Установка термопари в ІСЗ

3.3.2 Результати лабораторних досліджень

Усього дослідженню було піддано 20 ІСЗ Denso W20TT із мікротріщинами теплового конусу, що утворювалися в результаті їх реальної експлуатації на автомобілях різних моделей з різним пробігом з початку експлуатації, що працювали на газовому паливі. Вихідний опір їх теплового конусу при температурі 293 К становив від 0,1 до 40000 МОм. Розподіл числа ІСЗ по діапазонах вихідних значень опору представлено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 Вихідні опори досліджуваних ІСЗ

Діапазон опорів теплового конусу, МОм	Число ІСЗ, ед.
0,1...1	1
1.. .10	1
10...100	3
100...1000	3

1000...10000	4
10000...40000	8

Дослідження показали, що опір теплового конусу зменшується при нагріванні за експонентним законом в інтервалі температур 473...903 К (рис.3.21). При температурах нижче 473 дотримання експонентної залежності припиняється. Як і передбачалося, енергія активації не залишалася постійною при різних значеннях вихідних опорів. Особливо помітні її зміни спостерігалися при більших значеннях вихідних опорів (рис. 3.22).

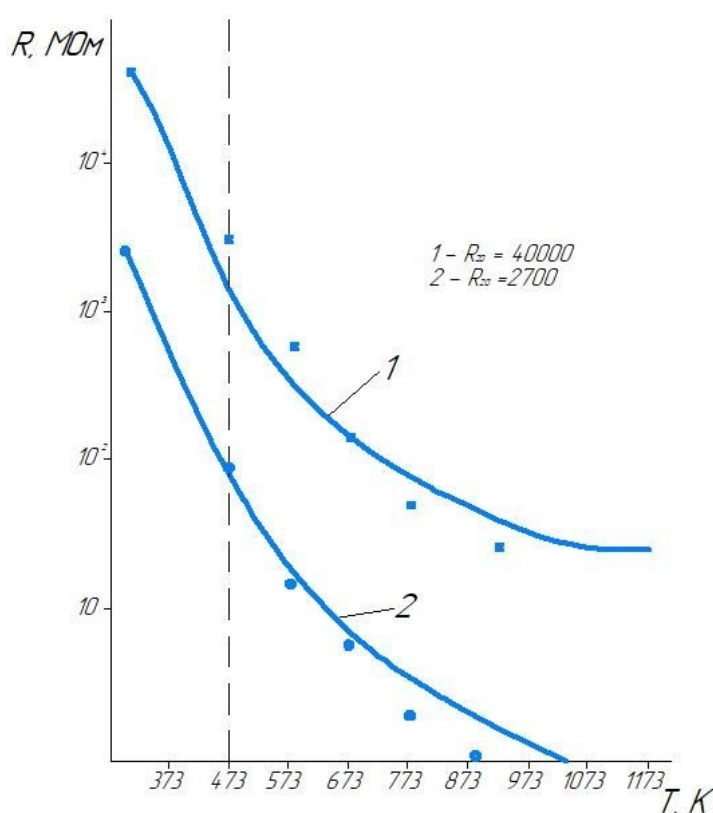


Рис. 3.21. Залежність опору теплового конусу від температури теплового конуса ІСЗ

Середнє значення енергії активації теплового конусу за результатами експерименту склало $\Gamma = 0,708$ еВ, а верхня границя довірчого інтервалу при довірчій імовірності 0,8, яку слід прийняти за розрахункове значення U склало 0,627.

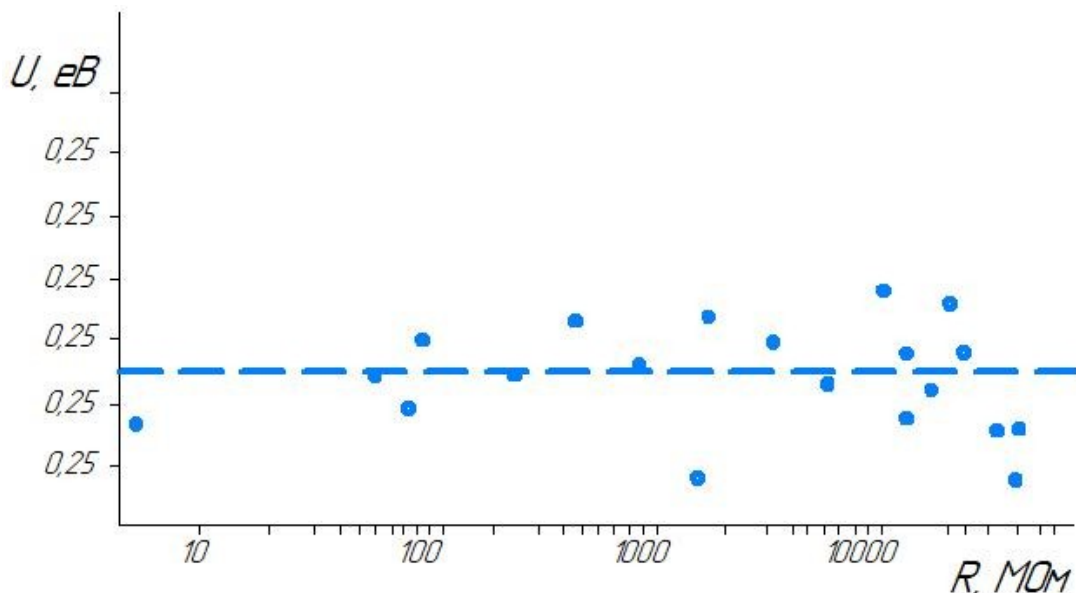


Рис. 3.22. Експериментальні значення енергії активації теплового конусу

Таким чином, в інтервалі температур від 473 до 903 К опір теплового конусу підкоряється формулі:

$$R = R \exp[4109,2 (T_1 - T_2)/(T_1 T_2)] \quad (3.1)$$

Наші експерименти показали, що при нагріванні з 293 до 473 К опір теплового конусу в середньому зменшується в 34,813 рази, причому ця величина практично не змінюється в досліджуваному діапазоні опорів.

Тоді можна записати (3.1) у вигляді:

$$R_T = (R_0/34,813) \exp[4109,2 (473 - T)/(473 \cdot T)], \quad (3.2)$$

де R_T - опір при температурі T , Мом;

R_0 - вихідний опір, ММ;

T - робоча температура теплового конуса ІСЗ, К.

3.4 Лабораторні дослідження впливу шунтування іскрового проміжку іскрової свічки запалювання на протікання робочого процесу у двигуні

Для перевірки адекватності математичної моделі СЗ були проведені лабораторні експерименти із переробленим газовим двигуном Д21А. Двигун був обладнаний DIS-системою обладнання.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Перед проведенням експериментів перевірявся зазор між електродами ІСЗ і вимірявся опір на тепловому конусі. Кут випередження запалювання і зазор у свічках встановлювалися відповідно до інструкції для експлуатації. Випробувальний стенд для двигуна являв собою динамометр із тензометричними датчиками.

Температура охолоджувальної рідини на виході із двигуна, оливи в картері і повітря, що входить у витратомір, вимірялася платиновими термометрами опору. Температурний режим двигуна підтримувався автономними системами охолодження води і масла, що представляють собою відповідно водо-водяний і водо-масляний радіатори, витрата охолоджувальної води в яких регулювався кранами, керованими електродвигунами з редукторами. Керування електродвигунами здійснювалося по сигналах термометрів опору, установлених у картері двигуна і системі охолодження. Температура охолоджувальної рідини і оливи підтримувалася на рівні $85 \pm 2^\circ\text{C}$.

Витрата палива вимірювалася штихпроберами закритого типу, оснащеними електричними клапанами для дистанційного керування початком виміру дози палива. Вимірювання кута випередження запалювання проводилося стробоскопом "Orion" (Угорщина) по градуйованому диску на колінчастому валу двигуна. Для аналізу складу ВГ використовувався газоаналізатор Yanako 2105 (Японія). Перед початком роботи в якості вихідних даних в пам'ять ЕОМ вводилися з термінала атмосферний тиск, робітник об'єм двигуна і питома вага використовуваного палива.

Заміри проводився в такий спосіб.

За допомогою електромагнітного клапана штихпробер включався в систему живлення двигуна. При проходженні паливом верхньої риски штихпробера оператор кнопкою "ПУСК ВИМІРУ" на пульті, підключеному до регістру запитів, запускав систему збору інформації і таймер для виміру часу витрати паливної дози. У процесі виміру частота обертання і крутний момент зчитувались системою збору інформації з інтервалом приблизно 0,8 з і заокруглювались із метою підвищення точності виміру.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зупинка таймера і закінчення виміру проводилося в момент проходження паливом нижньої риски штихпробера шляхом натискання оператором однієї із кнопок "СТОП" на пульті керування вимірюваннями. Кожна кнопка відповідала певній дозі палива, обраної для кожного режиму роботи двигуна за часом її витрати (30...60 с). У такий спосіб доза палива вводилася автоматично в систему збору інформації.

Після обробки первинної інформації і розрахунків показників режиму на екран дисплея ЕОМ виводився протокол виміру у вигляді рядка, що містить значення частоти обертання, крутного моменту, ефективної потужності, витрати повітря і палива, питомої витрати палива, коефіцієнта надлишку повітря і коефіцієнта наповнення. Програми обслуговування системи збору і обробки інформації були розроблені в ІФНТУНГ. Дослідження впливу округлення країв електродів ІСЗ на якість протікання робочого процесу двигуна проводилися у два етапи без використання штучних шунтувальних опорів.

На першому етапі на двигун були встановлені нові ІСЗ, а на другому – ІСЗ із округленими краями, що проробили на двигуні не менш 400 годин. На обох етапах експерименту коефіцієнт надлишку повітря послідовно змінювався від 0,9 до 1,2 з інтервалом 0,1. Частота обертання колінчастого вала підтримувалася в межах $2000 \pm 100 \text{ хв}^{-1}$. Крутний момент становив $350 \pm 30 \text{ Н-м}$. У ході проведення експерименту постійно вимірялася токсичність ВГ.

Аналіз результатів експерименту (рис. 3.23) показує, що заокруглення країв електродів ІСЗ не викликає помітного погіршення екологічних і економічних показників двигуна при всіх реальних складах робочої суміші.

Для дослідження впливу шунтувальних опорів на роботу двигуна на нього були встановлені нові ІСЗ марки NGK BPR6ES. Експеримент проводився в 4 етапи. На першому етапі шунтувальні опори штучно не вводилися, а дійсні значення $R_{\text{ш}}$ становили не менш 10000 МОм. На інших етапах паралельно всім ІСЗ вводилися шунтувальні опори величиною 10, 2 і 1 МОм. На кожному етапі експерименту проводилася послідовна зміна складу робочої суміші і виміри токсичності ВГ також, як і в попередньому експерименті.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

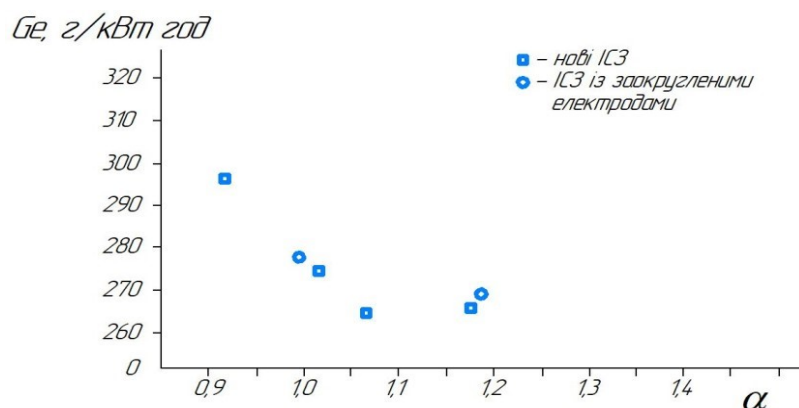


Рис. 3.23. Питома витрата палива двигуна за різних складів робочої суміші без додаткових шунтувальних опорів

Проведені дослідження показали помітне збільшення викиду вуглеводнів і питомої витрати палива при роботі двигуна на бідних сумішах із шунтувальним опором 2 МОм і при будь-якому складі робочої суміші із шунтувальним опором 1 МОм (рис. 3.24).

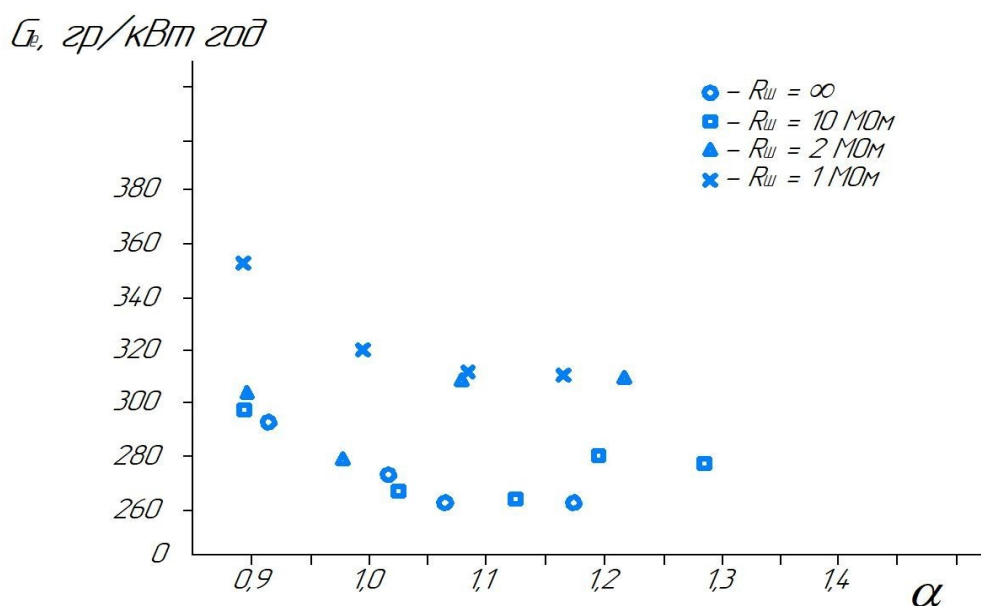


Рис. 3.26. Питома витрата палива двигуна при різних складах робочої суміші і штучних шунтувальних опорах

Випробувальний стенд для двигуна був обладнаний балансирним динамометром MEZ VSETIN DS 736-4/V потужністю 86 кВт при частоті обертання 6400 хв⁻¹.

Максимальний гальмівний момент динамометра 128,5 Нм. У комплект динамометра входив фотодатчик частоти обертання і цифровий тахометр ХР 1506 виробництва фірми TESLA (Чехословаччина). Пристрій динамометра дозволяв автоматично підтримувати обрану частоту обертання з точністю $\pm 1 \text{ хв}^{-1}$. Вимірювання крутного моменту здійснювалося ваговою головкою TRANSPORTA (Чехословаччина), що має діапазон вимірювань 0...200 Нм. З валом стрілки вагової головки був жорстко з'єднаний фотодатчик, підключений до цифрового вимірювача крутного моменту ХР 1207В (Нім). Тахометр і вимірювач крутного моменту риси цифрові виходи для передачі інформації на ЕОМ.

Для виміру витрати повітря використовувалась система, що включала ресивер об'ємом близько 200 л і лічильники різних розмірностей, які включалися залежно від режиму випробувань: РГ-40 з межею вимірювань до 40 м/г, РС-150 і РС-300 виробництва фірми GASELAN (Нім) з межами вимірювань 150 і 300 м³/год відповідно.

З валом кожного датчика були з'єднані датчики кутових переміщень із числом імпульсів на оберт для РГ40 $z=100$, для РС-150 $z=1000$ і для РС-300 $z=1024$. Імпульси з датчиків передавалися через відповідний дільник на електронний тахометр ТЕСА, який показувала об'ємну годинну витрату повітря. Контроль працездатності лічильників здійснювався по розрідженню в ресивері, яке не перевищувало на всіх режимах роботи 23 мм водяного стовпа. Температура охолоджувальної рідини на виході із двигуна, оливи в картері і повітря, що входить у витратомір, вимірялася платиновими термометрами опору в комплекті з нормуючим перетворювачем ППІ А614-7 і цифровим вольтметром Ф216-1/3 з межею вимірів 0...10 В.

Температурний режим двигуна підтримувався автономними системами охолодження води і масла, що представляють собою відповідно водо-водяний і водо-оливний радіатори, витрата охолоджувальної води в яких регулювався кранами, керованими електродвигунами РД-09 з редукторами.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Керування електродвигунами здійснювалося приладами РПБ-3 по сигналах термометрів опору, установлених у картері двигуна і системі охолодження. Температура охолоджувальної рідини і оливи підтримувалася на рівні $85 \pm 2^\circ\text{C}$.

Витрата палива вимірялася мірниками закритого типу, оснащеними електричними клапанами для дистанційного керування початком виміру дози палива. Вимірювання кута випередження запалювання здійснювалося стробоскопом "Orion" (Угорщина) по градуйованому дискові на колінчастому валу двигуна. Для аналізу складу ВГ використовувався газоаналізатор YanaKO 2105 (Японія). Випробувальний стенд був обладнаний автоматичною системою збору і обробки інформації. Перед початком роботи в якості вихідних даних в пам'ять ЕОМ вводилися з термінала атмосферний тиск, робочий об'єм двигуна і питома вага використовуваного палива. Погрішності вимірювань, що застосовувалися в роботі приладів наведені в табл. 3.5.

У ході проведення експерименту частота обертання колінчастого вала двигуна підтримувалася рівної 2000 хв^{-1} , а крутний момент на валу становив 24 Нм. На першому етапі експерименту шунтувальні опори штучно не вводилися, а природні шунти нагару мали опір не менш 10000 МОм. На другому етапі паралельно іскровим проміжкам усіх ІСЗ вводилися штучно шунтувальні опори величиною 510 кОм. Нарешті, на третьому етапі аналогічним чином вводилися опори величиною 255 кОм.

Таблиця 3.5 Погрішності вимірювань застосовуваних приладів

Вимірювана величина	Діапазон вимірювань	Похибка
Крутний момент, Н-м	0...200	+0,2
Частота обертання, хв-1	0...9999	± 1
Витрата повітря, м3/год	4...1000	$\pm 0,2$
Час витрати пального, с	0...99,99	$\pm 0,02$
Температура води, оливи, повітря на впуску, $^\circ\text{C}$	0...99,99	$\pm 0,4$

На другому етапі експерименту коефіцієнт надлишку повітря послідовно змінювався від 0,90 до 1,40 ($\pm 0,02$). Аналіз отриманих результатів показує, що шунтувальні опори, які можуть мати місце на ІСЗ у реальній експлуатації, не чинять помітного впливу на протікання робочого процесу переробленого газового двигуна Д21А на усьому діапазоні застосовуваних складах робочої суміші.

У цілому лабораторні експерименти показали, що розроблена математична модель СЗ із достатньою для практичних цілей точністю описує процеси, що відбуваються при шунтуванні іскрового проміжку ІСЗ.

ВИСНОВКИ ПО 3 РОЗДІЛУ

Лабораторними дослідженнями встановлено:

1. При температурах, що перевищують 473 К, спостерігається зменшення опору нагару за експонентним законом. Експериментально визначено значення енергію активації нагару.
2. Спрацювання електродів ІСЗ призводить до незначного підвищення питомої витрати палива і викиду вуглеводнів при роботі двигуна на бідних сумішах і окису вуглецю при роботі на багатих сумішах.
3. Розроблена математична модель СЗ адекватно описує процеси, що відбуваються при шунтуванні іскрового проміжку ІСЗ нагаром.
4. Перешкодопонижуючий резистор мають інтенсивність відмов, що знижується зі збільшенням наробітку. Це дозволяє розраховувати, що проведення більш твердих заводських випробувань цих елементів дозволить помітно підвищити надійність СЗ автомобіля в цілому.
5. У цілому експлуатація двигунів на газовому паливі знижує середній ресурс ІСЗ не менше 25 %.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 УДОСКОНАЛЕНІ АЛГОРИТМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ

4.1 Методика розробки алгоритму діагностування системи

запалювання газового двигуна

У даний час загальноприйнятим є алгоритмування пошуку елементів, які відмовили, у складних електротехнічних системах, однією з яких є СЗ автомобіля. Такі алгоритми широко відомі і використовуються при ремонті автомобілів і в бортових системах контролю і діагностування. Однак у цих алгоритмах або зовсім не враховується надійність елементів СЗ або вона прийнята незалежно від наробітку.

У той же час очевидно, що ймовірності відмов окремих елементів СЗ не залишаються постійними зі збільшенням наробітку автомобіля. Це приводить до того, що найбільш імовірні в початковий період часу відмови згодом стають менш імовірними. Особливо це стосується ІСЗ, які підлягають заміні кілька раз за період експлуатації автомобіля.

Проведені теоретичні дослідження дозволили запропонувати інженерну методику розробки алгоритмів діагностування СЗ із урахуванням надійності її елементів.

Вихідними даними для розробки алгоритму є:

- структурна схема моделі надійності СЗ;
- закони розподілу наробітків до відмови (на відмову) елементів СЗ;
- планова періодичність заміни й ТО елементів СЗ;

Крім того задаються деякими припущеннями, що спрощують розрахунки. Наприклад, припущення про незалежність відмов дозволяє вважати неможливим одночасну відмову декількох елементів СЗ. Однак тут слід мати на увазі, що в СЗ є очевидно залежні відмови, наприклад, пов'язані з підвищенням вторинної напруги при обриві високовольтного ланцюга.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки незначні відмінності ймовірностей відмов при діагностуванні не є істотними, доцільно розбити наробіток на інтервали, кратні періодичності ТО (приблизно 10 тис. км).

По загальноприйнятих алгоритмах визначається список ознак і можливих причин відмов.

Потім необхідно за відомими законами розподілу визначити середні для даного інтервалу ймовірності безвідмовної роботи елементів СЗ.

Якщо обсяг експерименту по деяких елементах не дозволяє побудувати закону розподілу наробітків до відмови через більш високу, ніж в інших, безвідмовності, можна прийняти їхній закон розподілу експонентним, не ризикуючи отримати більшу помилку. Тоді ймовірність безвідмовної роботи виразиться формулою:

$$P = \exp(-L/T_0), \quad (4.1)$$

де L - наробіток, тис. км;

T_0 - нижня довірча границя середнього наробітку до відмови при довірчій ймовірності $p^*=0,8$.

$$T_0 = 2 t / \chi^2(v; p^*), \quad (4.2)$$

де t - сумарний наробіток виробів, тис.км.; χ^2 - аргумент критерію згоди Пірсона;

$$v = 2 r + 2;$$

r - число відмов у вибірці;

p^* - довірча ймовірність.

Зневажаючи ймовірністю одночасної відмови декількох елементів СЗ, розрахуємо апіорні ймовірності гіпотез про відмову даного елемента СЗ по формулі:

$$P(H_i) = F(t) \Pi[P(t)], \quad (4.3)$$

де $F(t)$ – ймовірність відмови даного елемента;

$\Pi[P(t)]$ – добуток ймовірностей безвідмовної роботи всіх інших елементів СЗ;

Апостеріорні ймовірності відмови елементів СЗ (тобто ймовірності відмови за умови, що відмова вже відбулася) визначаються по формулі Бейеса:

$$P(H_i/A) = P(H_i) / P(H_i) \quad (4.4)$$

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаючи апостеріорні ймовірності відмов конкретних елементів, можна скласти оптимальний алгоритм діагностування СЗ.

У деяких випадках послідовність пошуку елементів, що відмовили, може не слідувати по шляху найбільшої ймовірності, оскільки при розробці алгоритму враховуються трудомісткість і інформативність перевірок.

4.1.1. Приклад розробки алгоритму діагностування системи запалювання автомобіля з газовим двигуном

За допомогою запропонованої методики розробимо алгоритм діагностування СЗ на підставі проведених нами експлуатаційних випробувань надійності СЗ автомобіля з газовим двигуном. Розглянемо наступні найбільш характерні відмови СЗ:

1. Двигун не пускається – запалювання не працює (або раптова зупинка двигуна).

Причини, не пов'язані з відмовами елементів СЗ:

- обрив або порушення контакту у колі: батарея - стартер - вимикач запалювання;
- відмова (разрядженість) акумуляторної батареї.

2. Двигун запускається із труднощами при справній (зарядженій) акумуляторній батареї (рис. 4.1).

Причини, не пов'язані з відмовами елементів СЗ:

- несправні елементи СЖ;
- неправильно встановлені зазори в клапанах;
- порушені фази газорозподілу;
- неправильно встановлений момент запалювання.

Алгоритм пошуку причин відмов типу "двигунзапускається із труднощами" зображений на рис. 4.2.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 4.1. Структурна схема моделі надійності СЗ для відмови типу "двигун запускається із труднощами"

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПРИЧИН ВІДМОВИ ТИПУ "ДВИГУН ЗАПУСКАЄТЬСЯ ІЗ ТРУДНОЩАМИ"

4.3. Збільшення ресурсу свічок газового двигуна

Свічки газових двигунів працюють в значно більш напруженому тепловому режимі. Якщо покращити відвід тепла від свічок, то можна покращити їхній ресурс. Так, чавунна головка блоку має теплопровідність 50 Вт/(м^хК), алюмінієва головка блоку має теплопровідність 209 Вт/(м^хК), а мідь - головка блоку має теплопровідність 401 Вт/(м^хК). Для збільшення експлуатаційного ресурсу свічок запалювання газових двигунів пропонується встановити теплопровідні мідні втулки на різьбове з'єднання свічок із головкою блоку циліндрів, рис. 4.3.

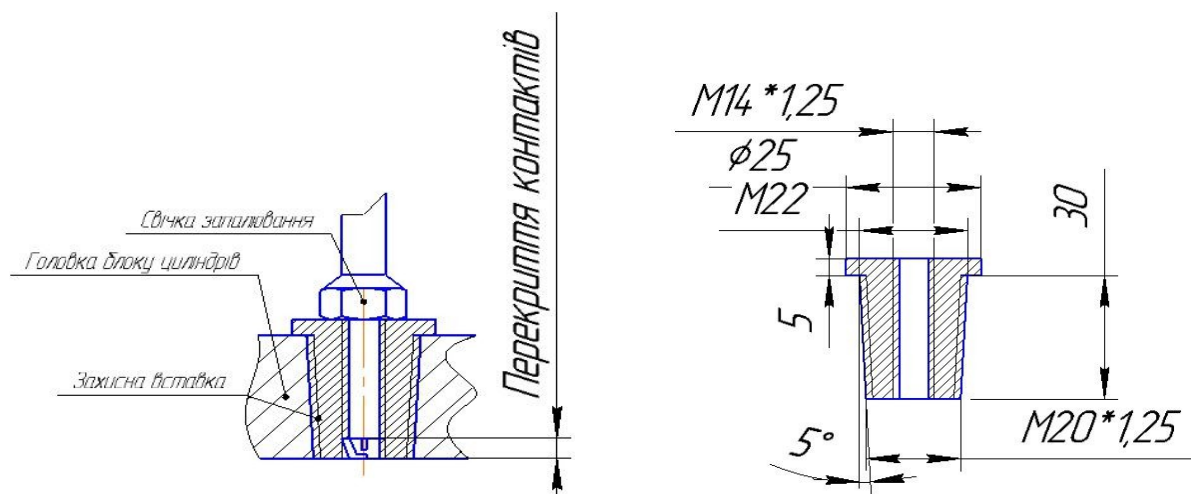


Рисунок 4.3 – Захисні теплопровідні мідні втулки для газових свічок запалювання.

ВИСНОВКИ ПО ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛУ

1. Запропонована методика розробки алгоритмів пошуку причин відмов у СЗ автомобілів з газовими двигунами.
2. Розроблені структурні схеми моделей надійності та алгоритми пошуку причин відмов у СЗ автомобілів з урахуванням відомостей про надійність її елементів.
3. Розроблена методика збільшення ресурсу свічок газового двигуна.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Охорона праці при діагностиці електронного обладнання та систем запалювання

Наявність електронного обладнання на автомобілі, вимагає стабільної подачі електричної енергії від бортових джерел (без будь яких перепадів напруги). Тому, під час проведення діагностики, слід суворо дотримуватися наступних запобіжних заходів:

- не допускати відключення акумулятора від бортової електромережі автомобіля за працюючого двигуна.

- під час дозарядки (від зовнішнього джерела) акумулятора, слід вимкнути бортову електромережу.

- перед демонтажем будь-яких елементів ЕСУД, необхідно від'єднати мінусову клему акумуляторної батареї.

- не допускається підключення або відключення елементів (давачів та виконавчих пристроїв функціональних систем) ЕСУ під час увімкненого запалювання.

- перед проведенням електрозварювальних робіт, необхідно від'єднати мінусову клему акумуляторної батареї та елементи ЕСУ.

- не допускається піддавати ЕБУ, впливу температури вище 80 °С.

- для виключення корозії з'єднувальних електричних пинів (під час очистки), забороняється спрямовувати струмінь пари на елементи ЕСУД.

- щоб уникнути пошкодження справних вузлів, не допускається застосування контрольно-вимірювального обладнання, не зазначеного в діагностичних картах.

- вимірювання напруги, слід виконувати вольтметром з номінальним внутрішнім опором 10 МОм.

- для запобігання пошкодження електронного обладнання електростатичним зарядом, забороняється торкатися контактних пинів (з'єднувачів або елементів) друкованої плати ЕБУ.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно, з впровадженням стандартів OBD-II та EOBD, процес діагностики ЕБУ автомобіля уніфікується. На вимогу цих стандартів, одне діагностичне обладнання можна використовувати для тестування автомобілів різних марок. Основною відмінністю стандарту EOBD від OBD-II, є закріплення в наборі його протоколів обміну даними протоколу CAN, впровадженого фірмою BOSCH.

Для захисту електродільниці від прямих попадань блискавки, використовують блискавковідводи, що являють собою добре заземленими провідниками, розміщуються вище будівель чи споруд, які потребують захисту.

Вони монтуються на відстані не менше як на 15см і не більше 2м вище підтримуючого стояка. Заземлення виконують із кутової сталі на відстані 1 м від фундаменту будівлі. Опір розтікання заземлення не повинен перевищувати 10 Ом.

Небезпечні умови відіграють пріоритетну роль у формуванні й виникненні виробничих небезпек - певного стану, за якого виникає реальна загроза аварії або травми.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що за характером дії їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця (відсутність огородження рухомих деталей або робочих органів, відсутність або недосконалість спеціальних технічних засобів безпеки: блокувальних пристроїв, засобів сигналізації тощо), конструктивні недоліки окремого вузла чи машини та інші;

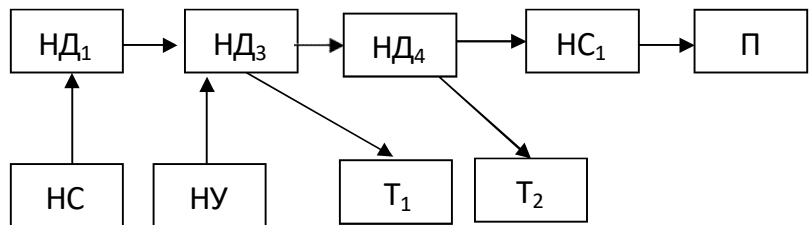
- спонукають працівника допускати помилки у процесі праці (конструктивна недосконалість технологічного процесу роботи машин або самої машини чи певного обладнання), низька кваліфікація працівника та рівень знань з охорони праці, відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;

- безпосередньо призводять до травмонебезпечної ситуації (наявність плям масла на підлозі, неправильно організоване робоче місце, не обґрунтовані режими роботи обладнання та ін.);

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- призводять до небезпечних дій (низький рівень професійної підготовки й організації навчання з охорони праці, відсутність або неефективність контролю з охорони праці та ін.).

Мною розроблена схема травмонебезпечних ситуацій, під час заміни свічок системи запалювання бензинового двигуна, рис. 5.1.



НД1 – зняття свічки запалювання; НС – температура свічки надто висока; НД3 – загвинчування свічки у вставку; НУ – можливе падіння капота; Т1 – можлива травма голови; НД4 – загвинчування вставки у головку циліндрів; Т2 – можлива травма кінцівок рук; НС1 – під час запуску двигуна, можливий пробій струмом (вологі руки); П – працівник втратив свідомість; НДд – необхідна допомога іншої особи

Рисунок 5.1 - Блок-схема небезпечних ситуацій під час встановлення захисної вставки.

5.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Вплив автомобільного транспорту в забрудненні навколишнього середовища і негативному впливі на населення (очевидно) ще більш істотний, ніж прийнято вважати, а саме:

1. Основна кількість автомобільного транспорту зосереджена в місцях з високою щільністю населення - містах, промислових центрах;
2. Шкідливі викиди від автомобілів виробляються в самих нижніх, приземних шарах атмосфери, там, де протікає основна життєдіяльність людини і де умови для їхнього розсіювання є найгіршими;

3. Відпрацьовані гази двигунів автомобілів містять висококонцентровані токсичні компоненти, що є основними забруднювачами атмосфери. Час, протягом якого шкідливі речовини природним способом зберігаються в атмосфері, оцінюється від десяти діб до півроку. Слід зазначити, що у відпрацьованих газах автомобільних двигунів міститься більш 200 токсичних хімічних сполук, велика частина яких представляє різні вуглеводні. Крім прямого негативного впливу на людину, викиди від автотранспорту наносять і непрямой шкоди.

Так, підвищення концентрації кінцевого продукту горіння автотранспортного палива - діоксид вуглецю, призводить до глобального підвищення температури земної атмосфери (так званий парниковий ефект). На думку багатьох експертів, наслідком цього, є такі природні катаклізми, як масштабні пожежі в Південно-Східній Азії, Америці, Сибіру, повені в Європі й Азії.

З'єднання сірки та оксиди азоту, що викидаються в атмосферу з відпрацьованими газами двигунів, піддаються хімічним перетворенням, формуючи різні кислоти і солі. Такі речовини повертаються на землю у вигляді "кислотних" дощів. Дослідниками доведено, що кислотні опади наносять значну шкоду водним екосистемам, ведуть до знищення фауни, викликають підвищену корозію металів і руйнування будівельних конструкцій. Крім того, оксиди азоту сприяють фарбуванню повітря в коричневий колір, а в сполученні з різними аерозолями викликають грязьовий туман (смог), погіршуючи видимість.

Основними проблемами, зв'язаними з якістю автотранспортних палив, є:

- низьке октанове число в більшій частині реалізованих бензинів;
- незначні обсяги виробництва зимових сортів дизельного палива.

І тому, такий стан речей не дає гарантій ефективного використання нафтопродуктів, призводить до необхідності підвищеного споживання автотранспортних палив і знижує ресурс двигунів автомобілів. До того ж в Україні реалізується значна частина так званих етилованих (тобто утримуючих свинець, бензину). Формулювання "значна частина" викликано тим, що після приватизаційних процесів, що пройшли в нафтовому секторі, значно зменшився контроль за кількістю і якістю нафтопродуктів, що поставляються на ринок.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розглянуто загальні особливості будови та параметрів сучасних систем запалювання, досліджено причини виходу з ладу свічок запалювання газових двигунів та шляхи збільшення їхнього ресурсу. Описані способи діагностування з малою трудомісткістю й дешевим компактним обладнанням, яке може бути використане у системах бортового контролю і діагностування. Досліджено методики діагностики СЗ аналізом осцилограм. Порівняно осцилограми бензиновий та газовий двигун. Розробити удосконалені алгоритм пошуку причин відмов СЗ.

Досліджені експериментальні показники елементів системи запалювання автомобіля. Отримана залежність опору теплового конусу іскрових свічок запалювання газових двигунів від температури при роботі двигуна; запропоновані шляхи збільшення ресурсу іскрових свічок запалювання газових двигунів.

Визначений режим роботи іскрових свічок запалювання при наявності мікротріщин на тепловому конусі. Установлено, що мікротріщини на тепловому конусі іскрових свічок запалювання, які можуть реально мати місце при експлуатації газового двигуна створюють суттєвий вплив на протікання робочого процесу двигуна. Експлуатаційні дослідження показали, що використання газового палива знижує ресурс іскрових свічок запалювання на 25-30 %.

Розроблені структурні схеми моделей надійності та алгоритми пошуку причин характерних відмов у системі запалювання автомобіля. Визначено, що застосування пропонованої системи діагностики СЗ дозволить знизити експлуатаційні витрати палива автомобіля.

Практична цінність роботи полягає в розробці методу діагностування іскрових свічок запалювання газових двигунів без їхнього демонтажу з автомобіля.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гутаревич Ю. Ф. Зеркалов Д.В., Говорун А.Г Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник. К.: Арістей, 2006. 292 с.
2. Гряник І. М., Лахман С.Д. та інші Охорона праці: Київ.: Урожай. 1994. 187 с.
3. Кисликов В., Лищук В. Будова і експлуатація автомобілів. Вид. Либідь.К.: 2018. 400 с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.
5. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання Навчальний посібник .Вища школа, 2001. 180с.
6. Шевчук Р.С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник). Львів:Львівський національний аграрний університет, 2016. – 236 с.
7. Бороденко Ю.М., Дзюбенко О.А., Биков О.М. Діагностика мехатронних систем автомобіля. Харків: ХНАДУ, 2015. 263 с.
8. Сажко В.А.Електричне та електронне обладнання автомобілів. К.: Каравела, 2004.-304с.
9. Яцун М. А. Електричні машини : навч. Посібник: 2-е вид., стерео. Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 428 с.
10. Лутченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. К.:Вищашкола, 2007.527с.
11. Лутченко О.А. Технічна експлуатація і ремонт автомобілів: організація і управління. К.: Знання-Прес, 2004. 478 с.
12. Дембіцький В. М., Павлюк В. І., Придюк В. М. Технічна експлуатація автомобілів Навчальний посібник. Інформаційно-видавничий відділ Луцького національного технічного університету. 2018. 472.
13. Електронна система «Motronic»/ Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://ppt-online.org/362361>.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

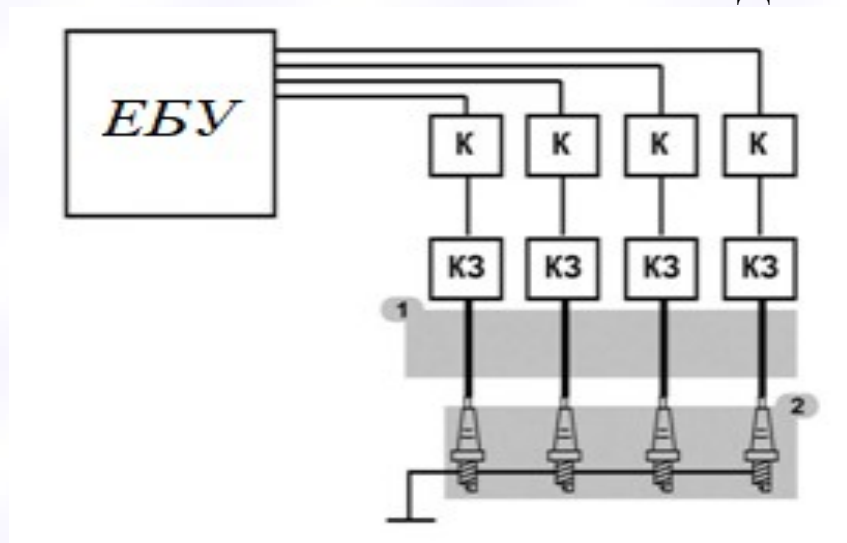
14. Сукач О.М., Миронюк О.С., Паславський Р.І., Шевчук В.В. Методичні рекомендації для виконання кваліфікаційних робіт здобувачами першого(бакалаврського)рівнявищоїосвітизаспеціальністю274 «Автомобільний транспорт». Львівський НУП, 2023. 44.
15. Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П., Мазур І.Б. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. посібник. Львів: Сполом. 2022. 376 с.
16. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посіб. / за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2017. Ч. І. 620 с.
17. Правила пожежної безпеки в Україні (ред. 22.01.2022 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>
18. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1299-12#Text>.
19. Розрахунок економічної ефективності механізму [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.google.com/url>.
20. Навчальне середовище «Electude» [Електронний ресурс], режим доступу: <https://lnau.electude.eu>.
21. Електронні системи управління / Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://www.autoezda.com/electr/.html>
22. Електронні системи управління / Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/172/1>.

					БР.АТ-86.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Боднар Олександр
Олександрович**

Тема бакалаврської роботи:

**Розробка шляхів
удосконалення діагностики
систем запалювання газових
двигунів**



1 - Високовольтні провідники; 2 - Свічки запалювання;
ЕБУ – електронний блок керування двигуном; К –
комутатор; КЗ – котушка запалювання.

Рисунок 1 – Загальна схема систем ІЗ з окремим СК

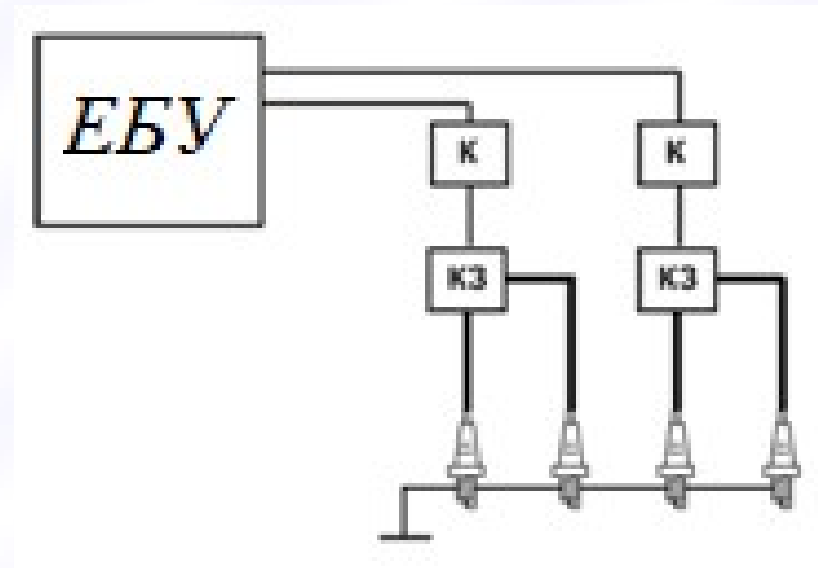
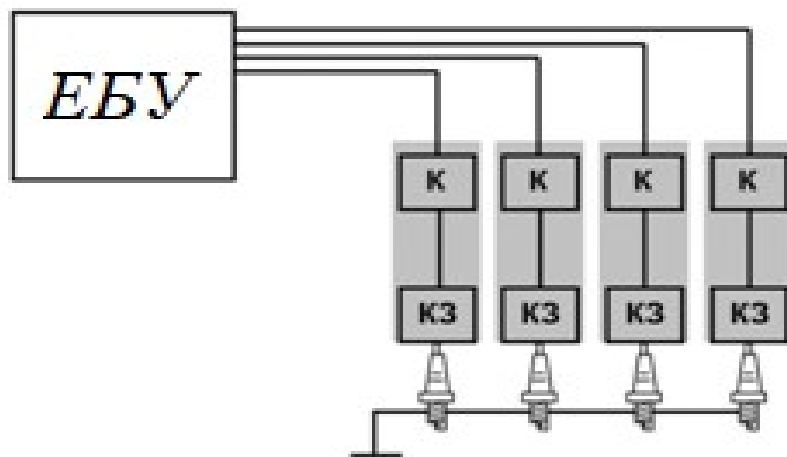


Рисунок 3 – Загальна схема DIS-систем з окремим СК.



ЕБУ – електронний блок керування двигуном; К –
комутатор; КЗ – котушка запалювання.

Рисунок 2 – Загальна схема систем ІЗ з вбудованим СК

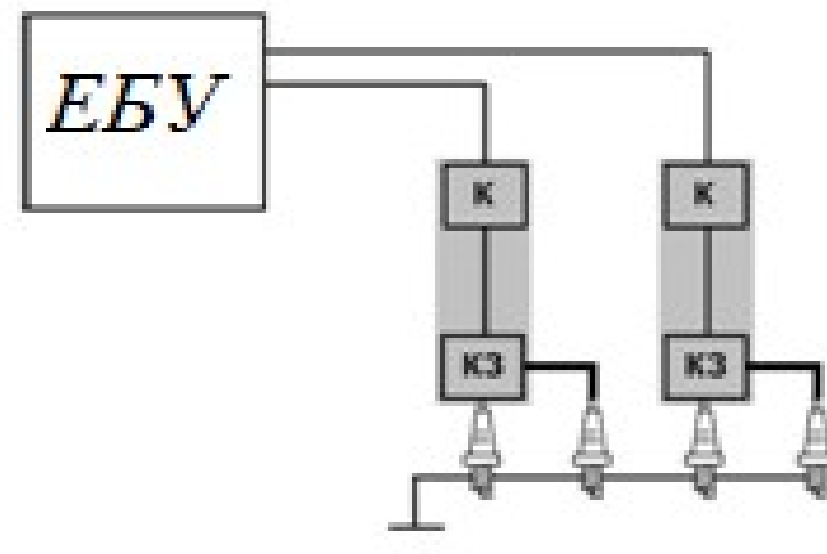


Рисунок 4 – Загальна схема DIS-систем з вбудованим СК.

Таблиця 1. Діагностичні параметри справної СЗ

Найменування параметра	$n=500 \text{ хв}^{-1}$	$n=2000 \text{ хв}^{-1}$
τ_p , мс	1,4	0,7
$U_{пр}$, кВ	10	10
U_d , кВ	3,1	3,0

Таблиця 2. Збільшений міжелектродний зазор ІСЗ

Найменування параметра	$n=500 \text{ хв}^{-1}$	$n=2000 \text{ хв}^{-1}$
τ_p , мс	1,0	0,5
$U_{пр}$, кВ	15	15
U_d , кВ	3,8	3,9

Таблиця 3. Шунтування іскрового проміжку

Найменування параметра	$n=500 \text{ хв}^{-1}$	$n=2000 \text{ хв}^{-1}$
τ_p , мс	1,3	0,5
$U_{пр}$, кВ	8	8
U_d , кВ	2,6	2,2

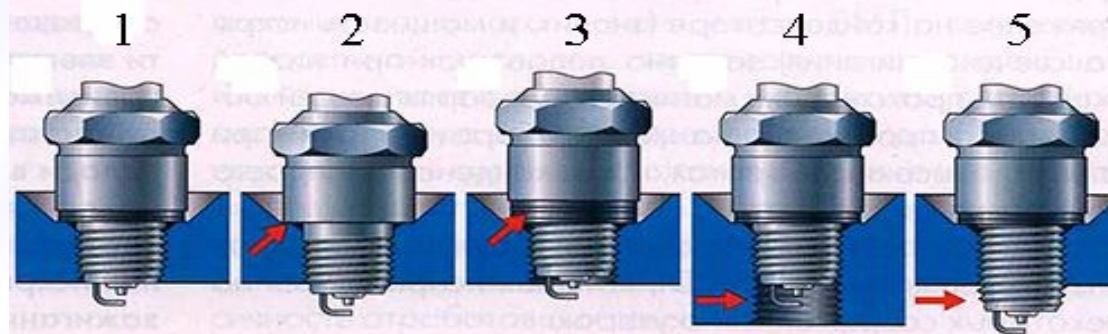
Таблиця 4. Пробивні напруги між електродами ІСЗ при атмосферному тиску і температурі 293К

Зазор, мм	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
$U_{пр}$, кВ	2,4	2,8	3,2	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1

ПРИЧИНИ ВИХОДУ З ЛАДУ СВІЧОК ЗАПАЛЮВАННЯ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ ТА ШЛЯХИ 4 ЗБІЛЬШЕННЯ ЇХНЬОГО РЕСУРСУ



Рис. 1. Установка термопари та вимірювання температури свічок запалювання газового двигуна в ІСЗ



1 - правильно встановлена свічка; 2 - відсутнє кільцеве ущільнення; 3 - встановлено два ущільнювальні кільця; 4 - різьбова частина надто коротка; 5 - різьбова частина занадто довга

Рисунок 2 – Неправильний підбір і встановлення газової свічки запалювання

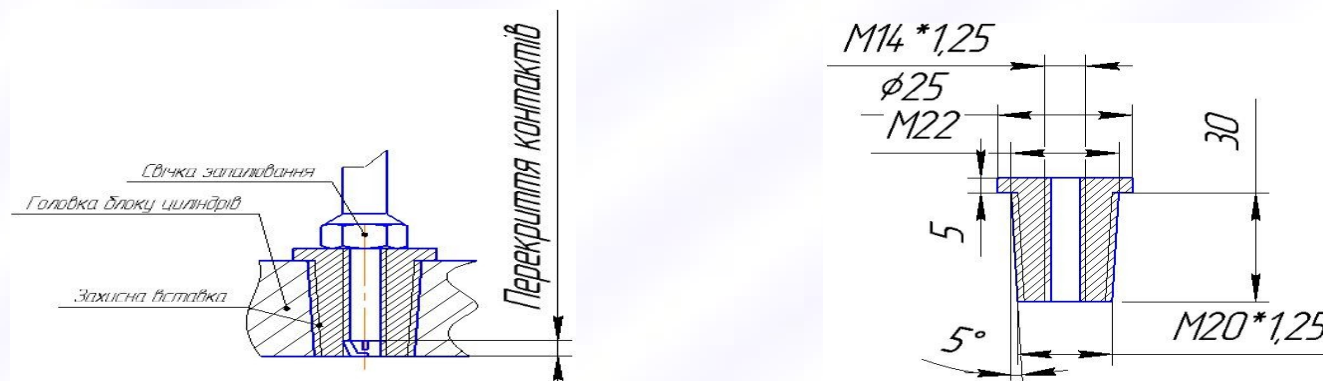


Рисунок 3 – Теплопровідні мідні втулки для газових свічок запалювання.

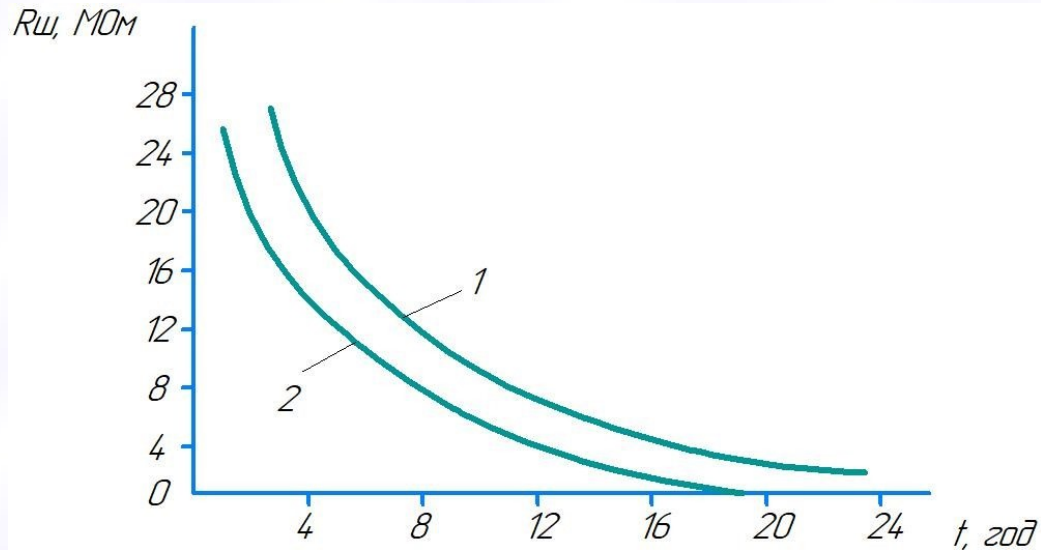


Рис. 1. Зміна опору теплового конусу ІСЗ від напрацювання при різних кутах випередження запалювання:
1 - $KBZ = 20^\circ$; 2 - $KBZ = 40^\circ$.

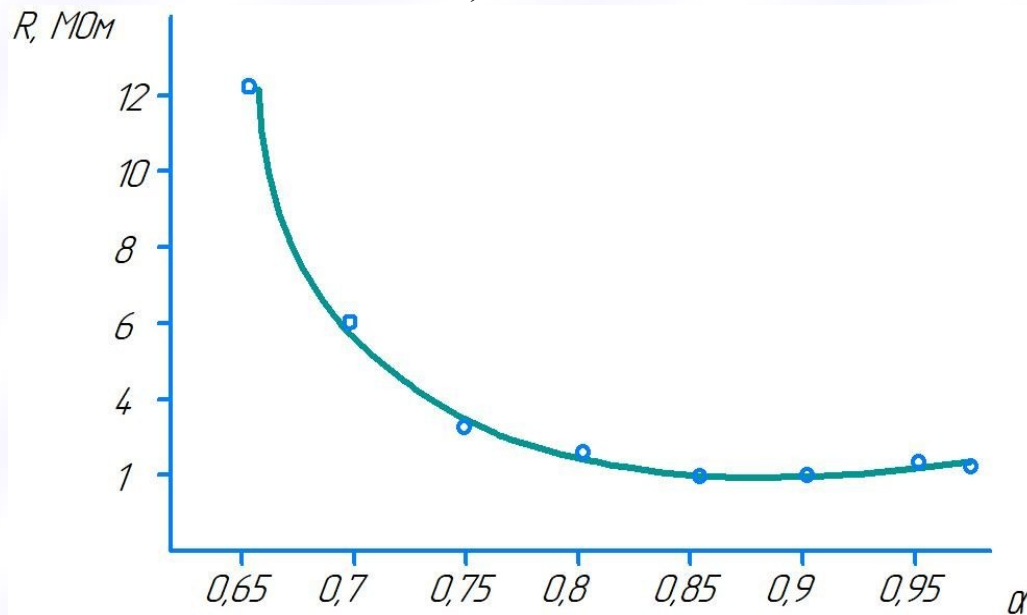


Рис. 2. Залежність опору теплового конусу ІСЗ від складу робочої суміші

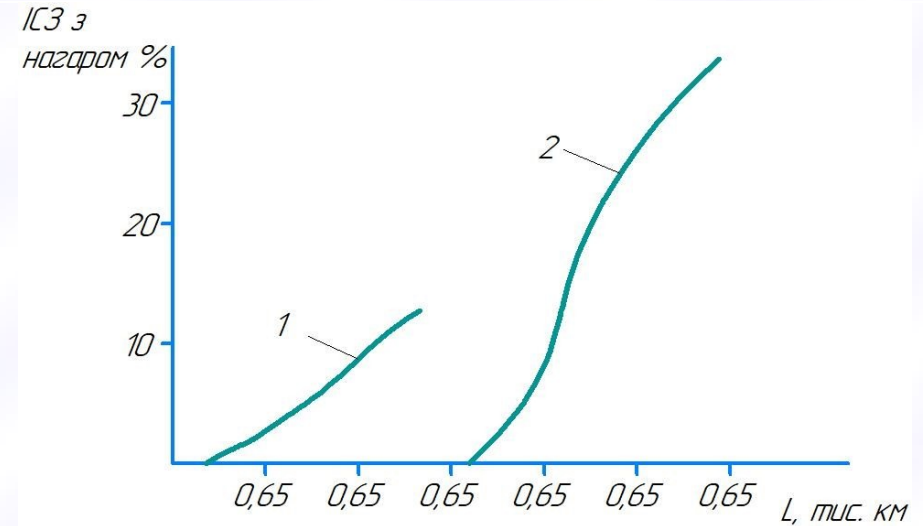


Рис. 3. Частота появи ІСЗ із тріщинами на теплому конусі
1 - $R_{ш} < 100$ МОм; 2 - $R_{ш} < 10$ МОм.

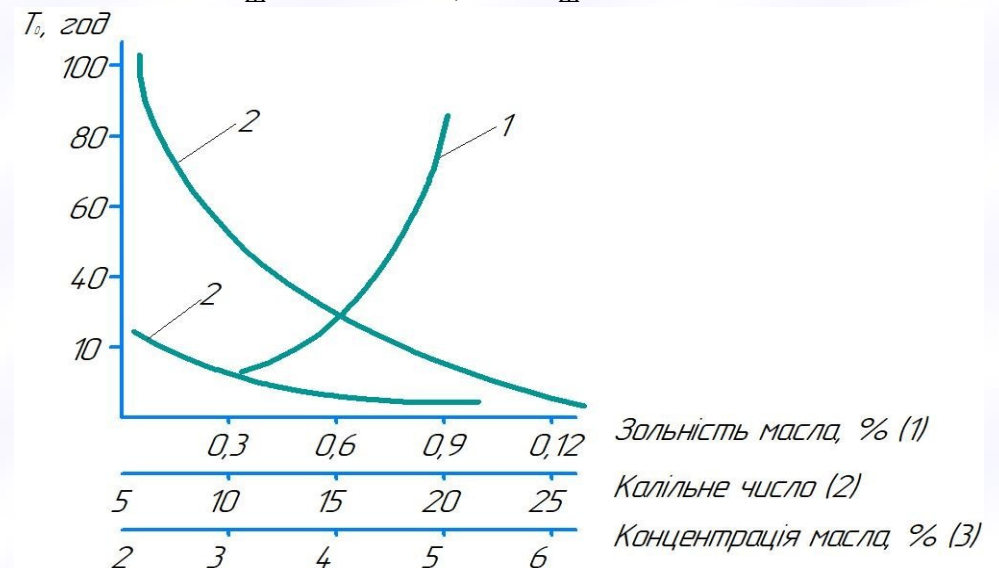


Рис. 4. Залежність середнього наробітку на відмову ІСЗ від калільного числа ІСЗ, зольності і наявності оливи в ЦПГ

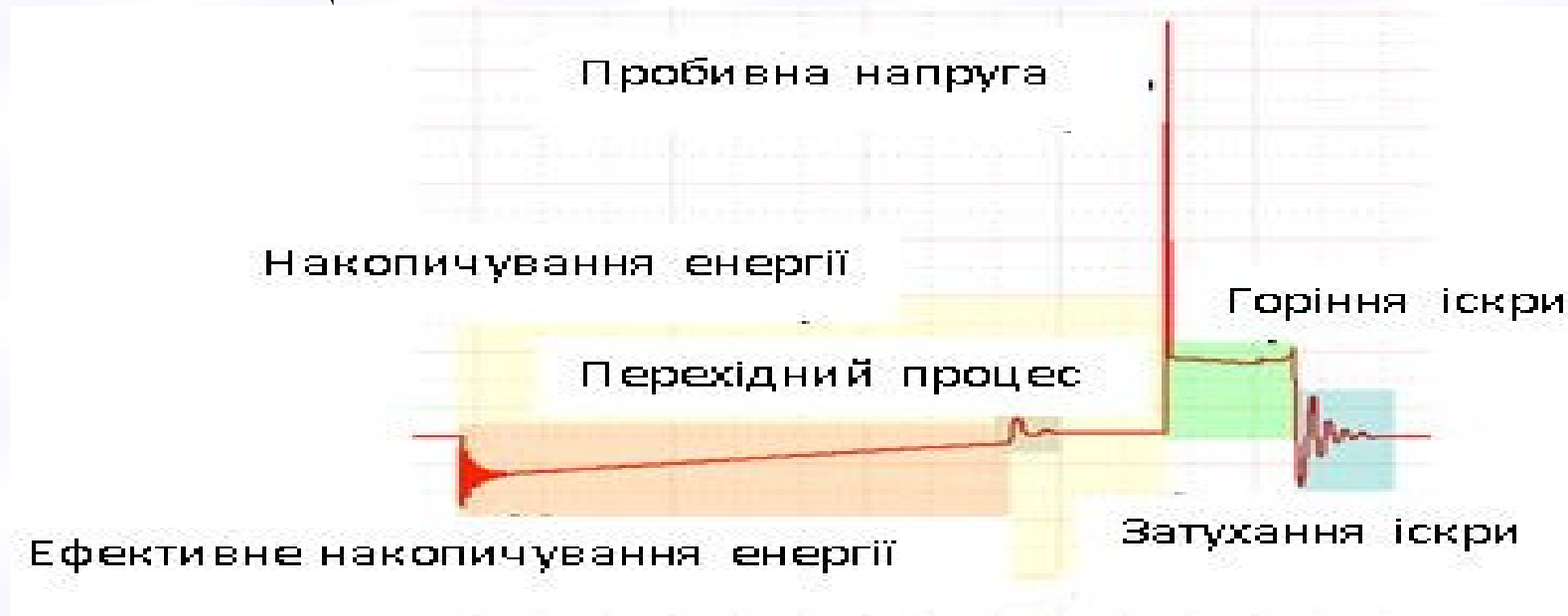


Рисунок 1 - Осцилограма пробивного розряду напруги вторинного кола на свічці запалювання

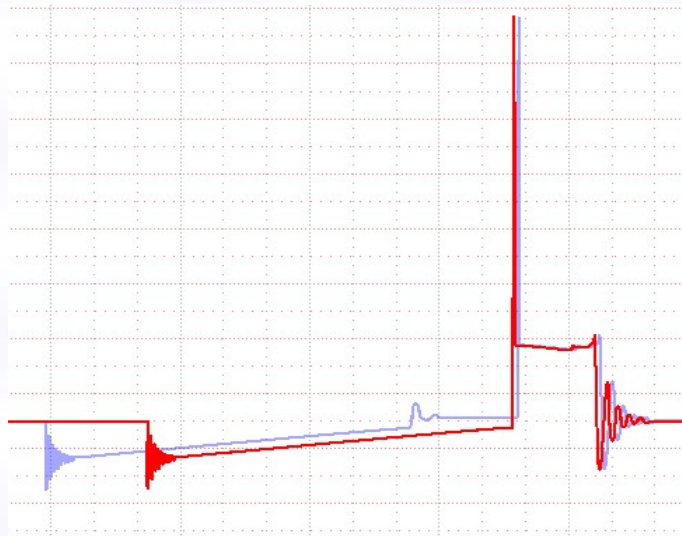


Рисунок 2 – Осцилограма котушки запалювання (C3 справна)

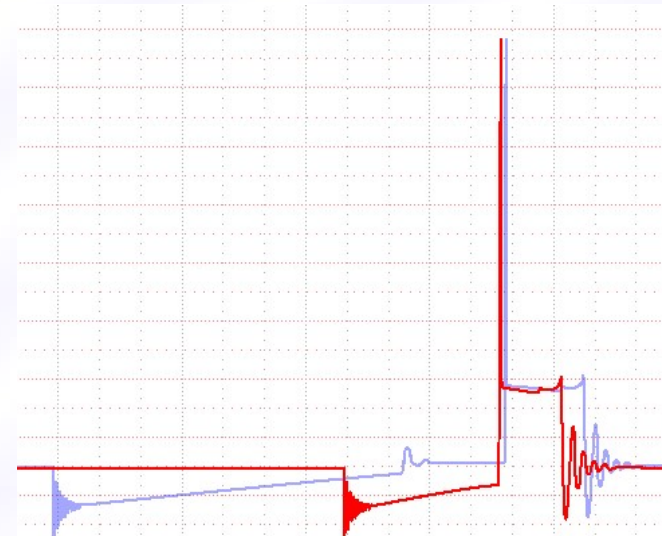


Рисунок 3 – Значний недозаряд котушки запалювання (несправність C3)



Рисунок 1 – Режим підвищеного навантаження (справна СЗ)



Рисунок 2 – Форма осцилограми, за забруднення свічкових електродів



Рисунок 3 – Режим підвищеного навантаження (несправність).



Рисунок 4 – Осцилограма за зменшеного зазору електродів свічок (несправність).

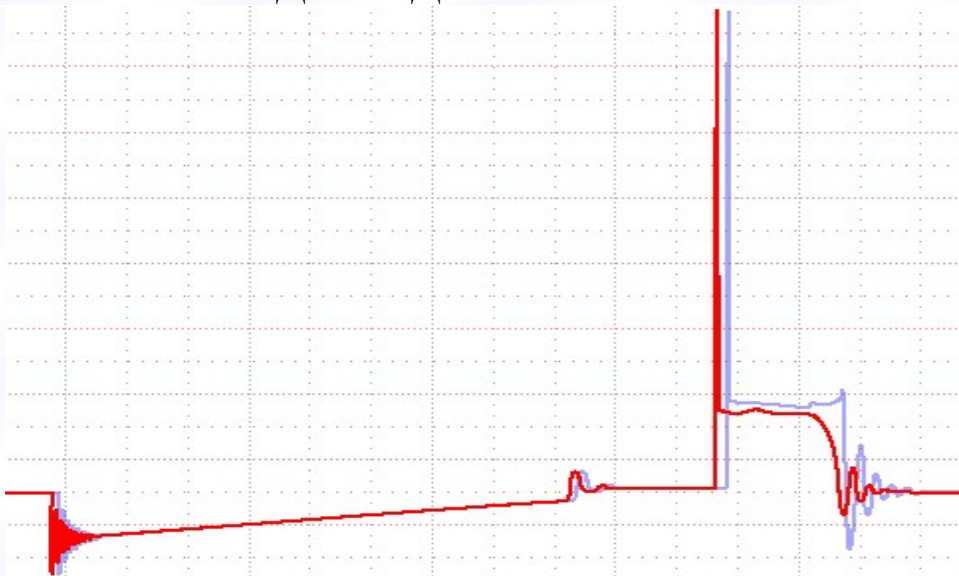


Рисунок 1 – Вигляд осцилограми свічки газопого двигуна з тріщинами від перегріву ізолятора свічки (несправність)

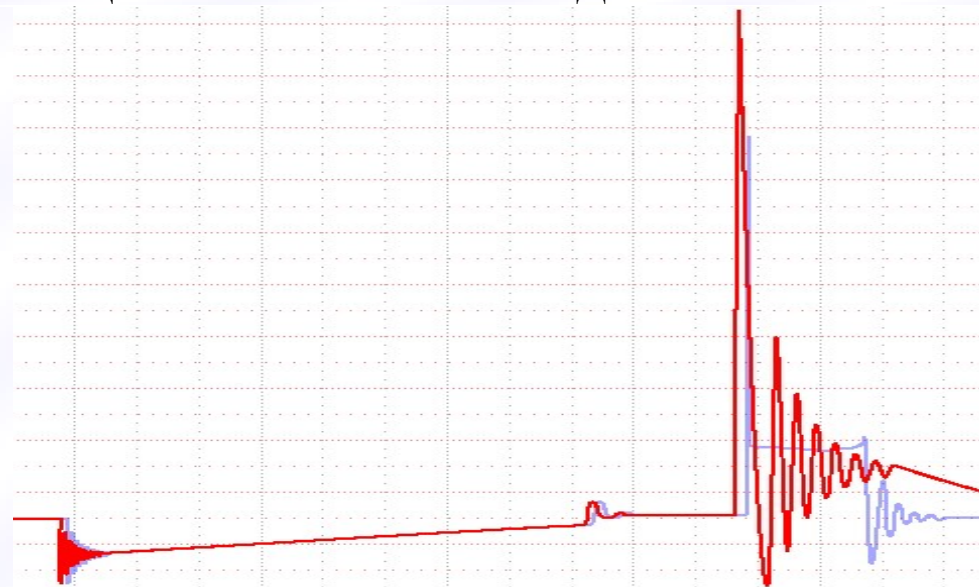


Рисунок 3 – Форма електричного розряду, за обриву високовольного провідника газопого двигуна

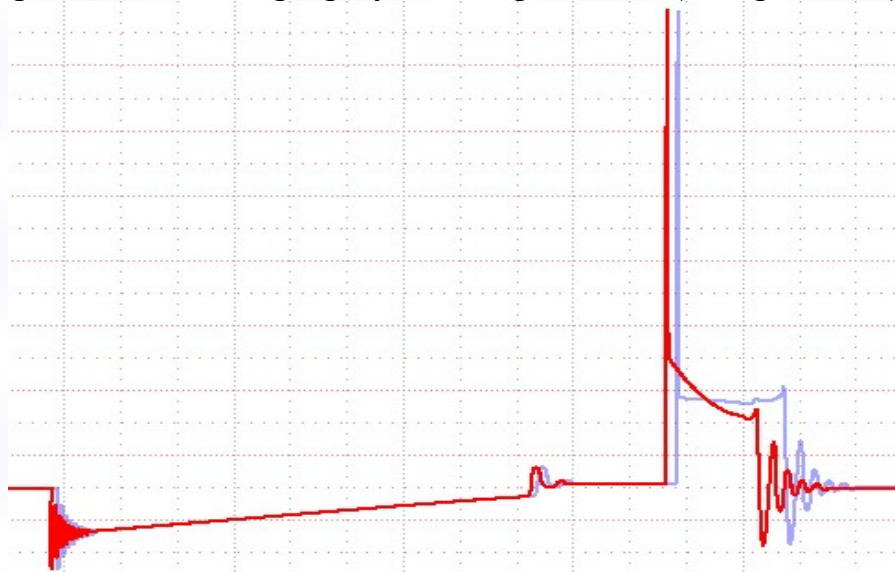


Рисунок 2 – Форма осцилограми, за збільшеного опору високовольного провідника газопого двигуна.

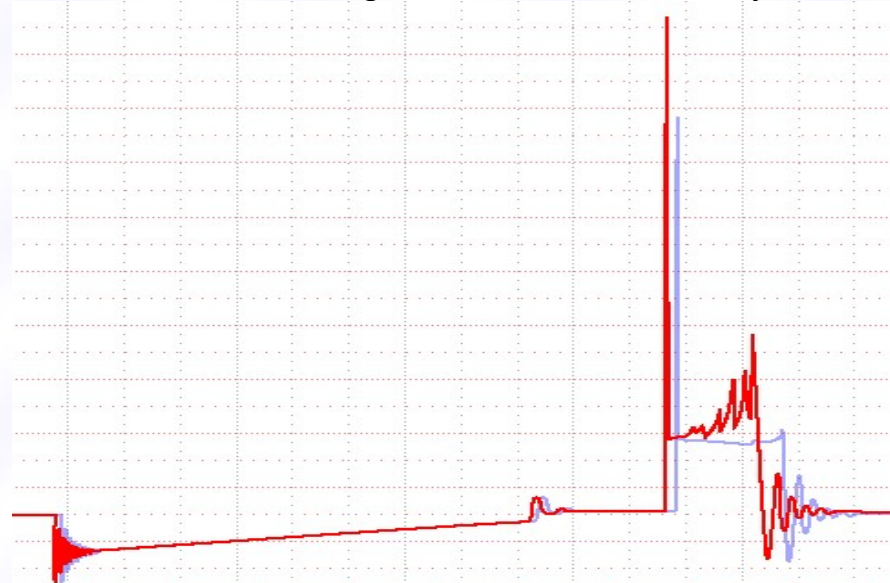


Рисунок 4 – Осцилограма за збільшеного зазору на електродах свічки (підвищена пробивна напруга).

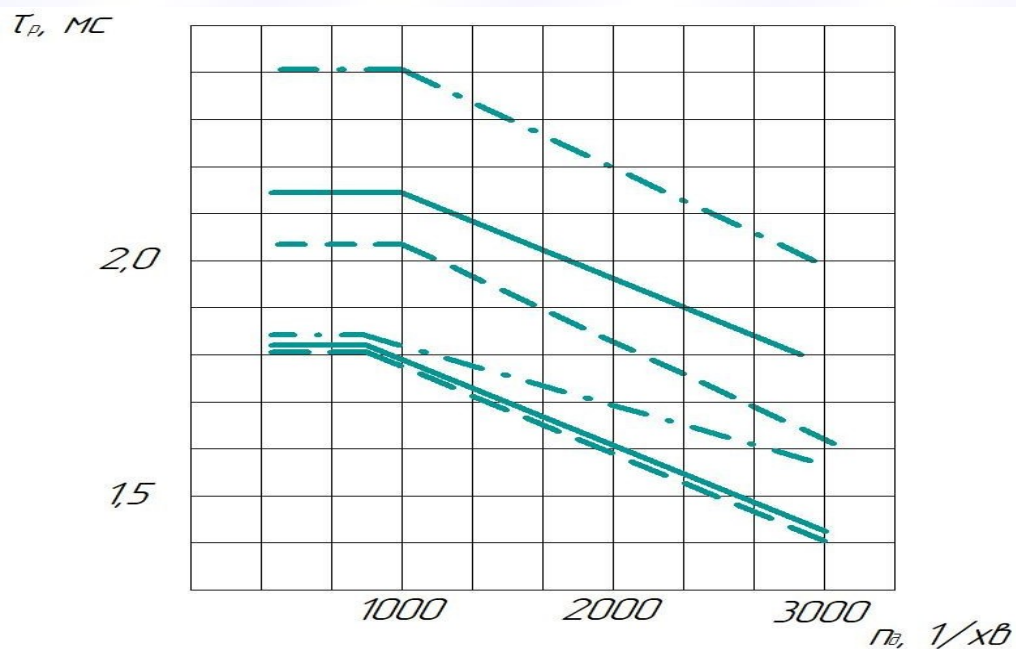


Рис. 1. Допустимі значення тривалості розряду

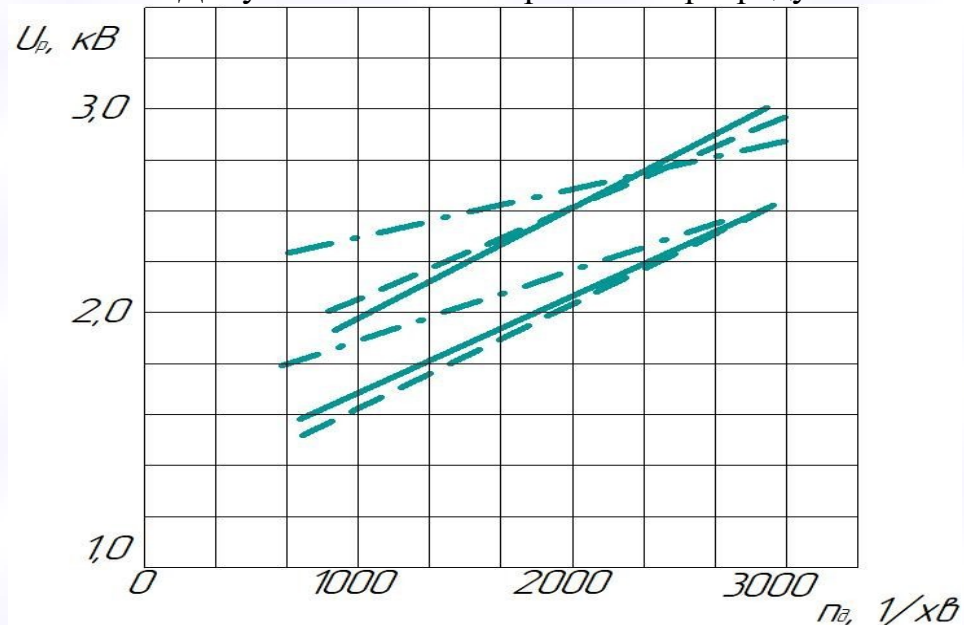


Рис. 2. Допустимі значення напруги індуктивної фази розряду

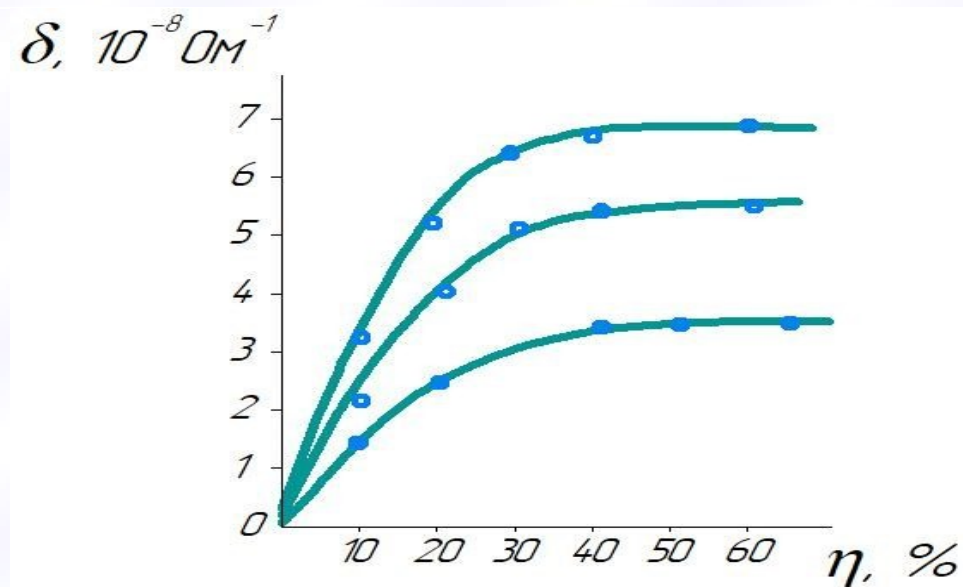


Рис. 3. Залежність провідності теплового конусу свічки від відносної вологості повітря.

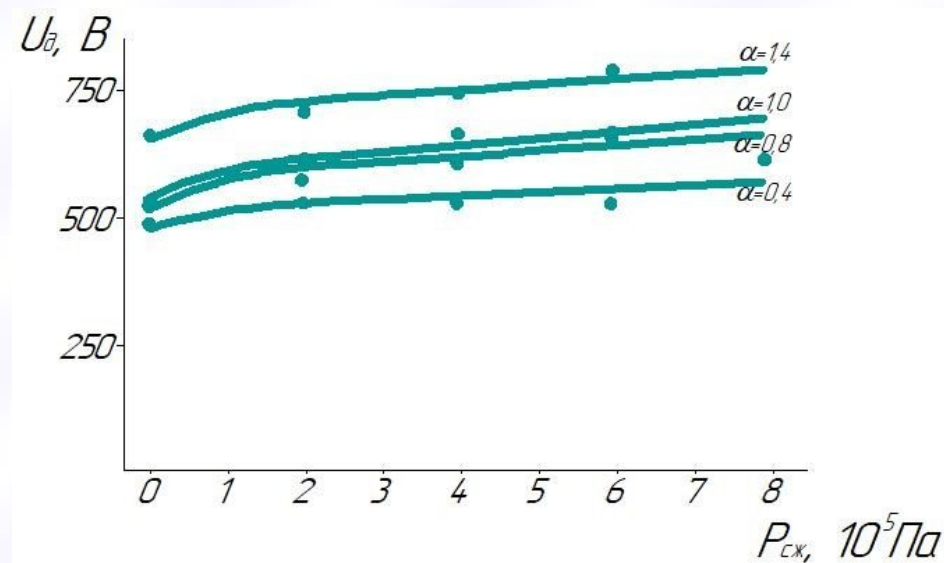


Рис. 4. Залежність середньої напруги горіння дуги від тиску і міжелектродного зазору

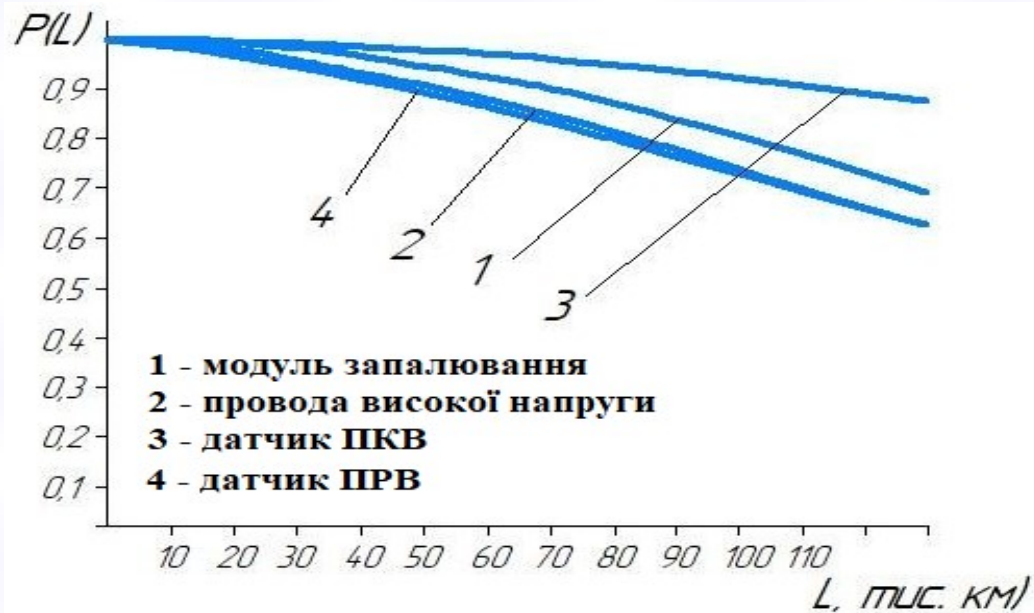


Рис. 2. Імовірність безвідмовної роботи елементів СЗ

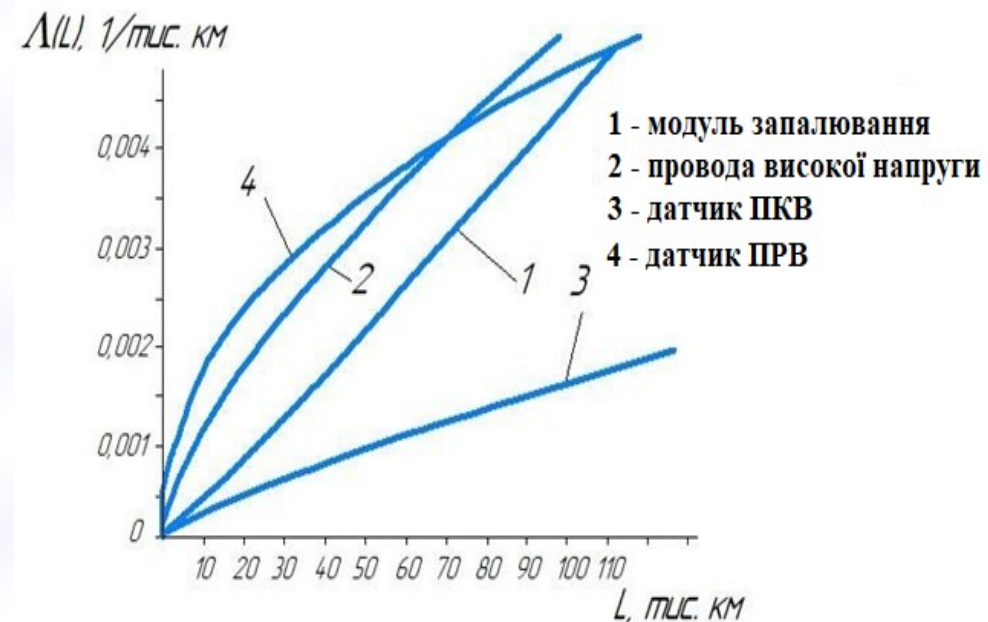


Рис. 3. Інтенсивність відмов елементів СЗ

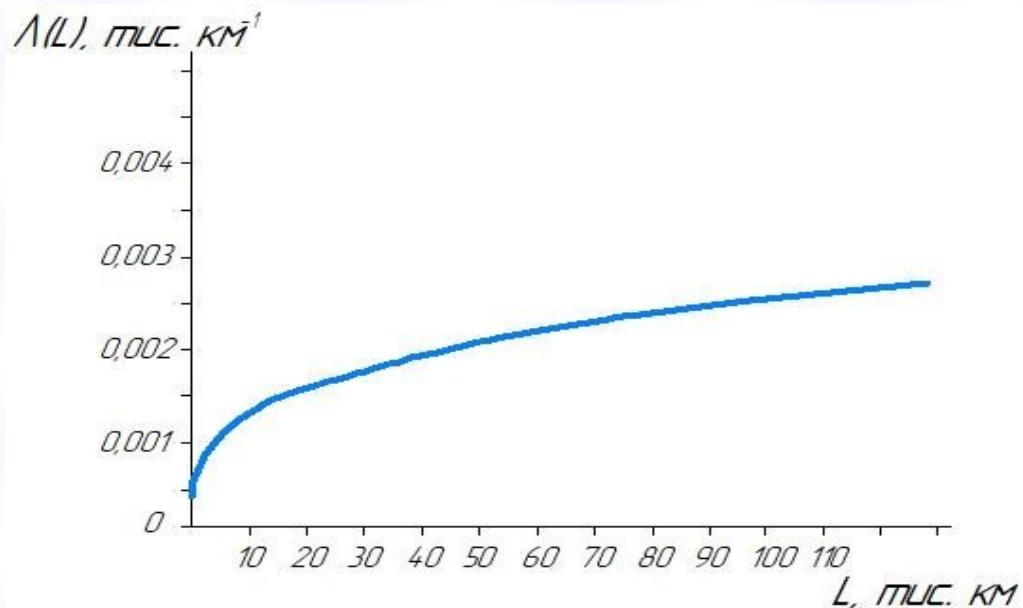


Рис. 1. Інтенсивність відмов ІСЗ від тріщин теплового конуса

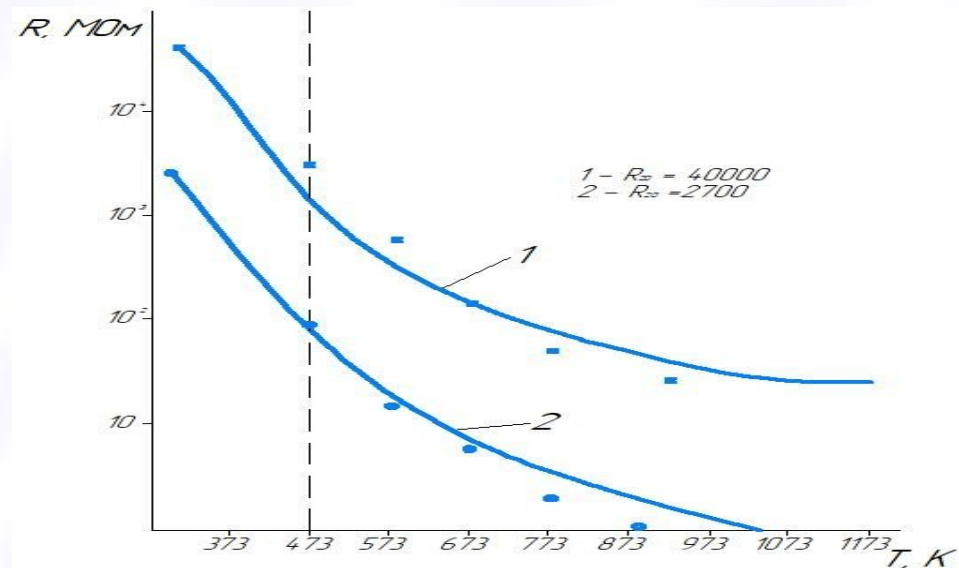
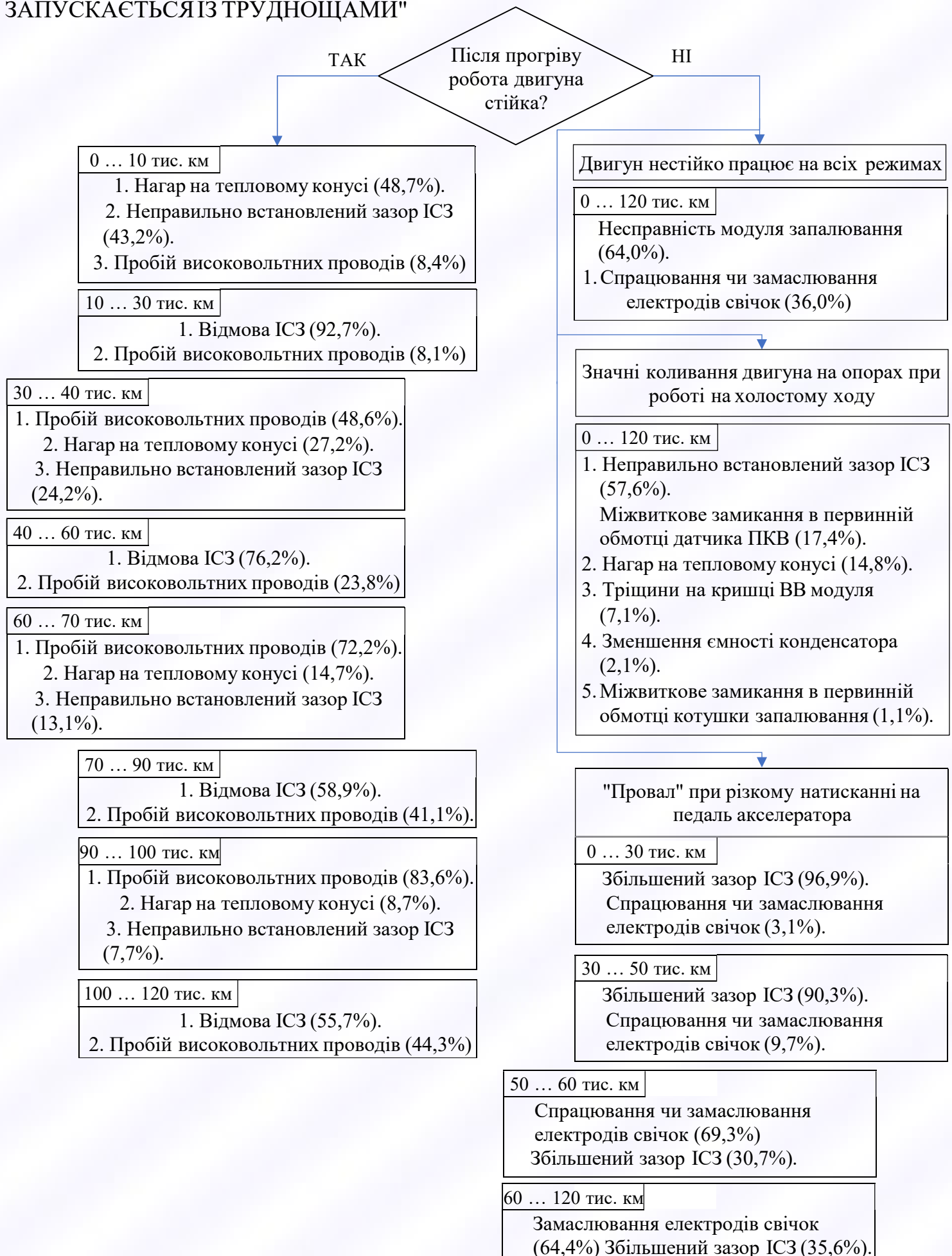


Рис. 4. Залежність опору теплового конуса від температури теплового конуса ІСЗ

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПРИЧИН ВІДМОВИ СЗ ТИПУ "ГАЗОВИЙ ДВИГУН ЗАПУСКАЄТЬСЯ ІЗ ТРУДНОЩАМИ"



0 ... 10 тис. км 1. Нагар на тепловому конусі (43,2%). 2. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (38,2%). 3. Пробій високовольтних проводів (7,0%) 4. Пробій конденсатора (5,8%) 5. Відмова котушки запалювання (3,5%) 6. Окислення контактів прерервника (2,3%)	60 ... 70 тис. км 1. Пробій високовольтних проводів (43,9%) 2. Окислення контактів прерервника (25,0%) 3. Нагар на тепловому конусі (9,2%). 4. Пробій конденсатора (9,0%) 5. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (8,2%) 6. Відмова котушки запалювання (4,8%)
10 ... 30 тис. км 1. Відмова ІСЗ (89,5%). 2. Пробій високовольтних проводів (5,1%) 3. Пробій конденсатора (2,1%) 4. Окислення контактів прерервника (2,0%) 5. Відмова котушки запалювання (1,2%)	70 ... 90 тис. км 1. Відмова ІСЗ (51,3%). 2. Пробій високовольтних проводів (26,0%) 3. Окислення контактів прерервника (15,8%) 4. Пробій конденсатора (4,5%) 5. Відмова котушки запалювання (2,4%)
30 ... 40 тис. км 1. Пробій високовольтних проводів (32,8%) 2. Нагар на тепловому конусі (18,9%). 3. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (16,7%). 4. Окислення контактів прерервника (15,6%) 5. Пробій конденсатора (10,3%) 6. Відмова котушки запалювання (5,6%)	90 ... 100 тис. км 1. Пробій високовольтних проводів (48,1%) 2. Окислення контактів прерервника (31,0%) 3. Пробій конденсатора (7,2%) 4. Нагар на тепловому конусі (5,1%). 5. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (4,5%) 6. Відмова котушки запалювання (4,0%)
40 ... 60 тис. км 1. Відмова ІСЗ (69,9%). 2. Пробій високовольтних проводів (15,9%) 3. Окислення контактів прерервника (8,3%) 4. Пробій конденсатора (3,8%) 5. Відмова котушки запалювання (2,1%)	100 ... 120 тис. км 1. Відмова ІСЗ (36,8%). 2. Пробій високовольтних проводів (33,6%) 3. Окислення контактів прерервника (22,8%) 4. Пробій конденсатора (4,4%) 5. Відмова котушки запалювання (2,3%)

Розглянуто загальні особливості будови та параметрів сучасних систем запалювання, досліджено причини виходу з ладу свічок запалювання газових двигунів та шляхи збільшення їхнього ресурсу. Описані способи діагностування з малою трудомісткістю й дешевим компактним обладнанням, яке може бути використане у системах бортового контролю і діагностування. Досліджено методики діагностики СЗ аналізом осцилограм. Порівняно осцилограми бензиновий та газовий двигун. Розробити удосконалені алгоритм пошуку причин відмов СЗ.

Досліджені експериментальні показники елементів системи запалювання автомобіля. Отримана залежність опору теплового конусу іскрових свічок запалювання газових двигунів від температури при роботі двигуна; запропоновані шляхи збільшення ресурсу іскрових свічок запалювання газових двигунів.

Визначений режим роботи іскрових свічок запалювання при наявності мікротріщин на тепловому конусі. Установлено, що мікротріщини на тепловому конусі іскрових свічок запалювання, які можуть реально мати місце при експлуатації газового двигуна створюють суттєвий вплив на протікання робочого процесу двигуна. Експлуатаційні дослідження показали, що використання газового палива знижує ресурс іскрових свічок запалювання на 25-30 %.

Розроблені структурні схеми моделей надійності та алгоритми пошуку причин характерних відмов у системі запалювання автомобіля. Визначено, що застосування запропонованої системи діагностики СЗ дозволить знизити експлуатаційні витрати палива автомобіля.

Практична цінність роботи полягає в розробці методу діагностування іскрових свічок запалювання газових двигунів без їхнього демонтажу з автомобіля.