

Кваліфікаційна робота: 74 с. текст. част., 27 рис, 12 табл., 18 літ. джерел. «Дослідження елементів системи запалювання автомобілів» Васильків Ю.Б. – Кваліфікаційна робота. Кафедра автомобілів і тракторів. – Дубляни, Львівський НАУ, 2024.

Розроблені структурні схеми моделей надійності та алгоритми пошуку причин характерних відмов у системі запалювання автомобіля ЗАЗ-1103.

Розроблені нормативи технічної експлуатації іскрових свічок запалювання.

Розроблений ефективний спосіб діагностування іскрових свічок запалювання в холодному стані без їхнього демонтажу із двигуна.

Подана уточнена математична модель батарейної системи запалювання, що враховує наявність іскрового проміжку розподільника.

Досліджені експлуатаційні випробування елементів системи запалювання автомобіля ЗАЗ-1103.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1	
СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Огляд досліджень надійності елементів систем запалювання автомобілів	7
1.2. Аналіз методів діагностування іскрових свічок запалювання	16
Висновок за розділом.....	25
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	2
2.1. Закономірності температурних змін електричних властивостей нагару, що утворюється на тепловому конусі іскрової свічки запалювання	27
2.2. Ранжування факторів, що впливають на нагароутворення	31
Висновки до розділу.....	39
РОЗДІЛ 3	
МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ	40
3.1. Методика розробки алгоритму діагностування системи запалювання	40
3.2. Приклад розробки алгоритму діагностування системи запалювання автомобіля	42
3.3. Методика лабораторних досліджень електричних властивостей нагарів на теплових конусах іскрових свічок запалювання	48
Висновки до розділу.....	49
РОЗДІЛ 4	
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	51
4.1. Результати експлуатаційних досліджень	51
4.2. Результати лабораторних досліджень електричних властивостей нагарів на теплових конусах іскрових свічок запалювання.....	59
Висновки за розділом.....	61
РОЗДІЛ 5	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	62
5.1. Екологічні показники роботи двигунів внутрішнього згорання... ..	62
5.2. Структурно-функціональний аналіз процесу випробування двигунів й розроблення моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій	63
5.3. Правила техніки безпеки під час обкатування та випробування двигунів.....	64
РОЗДІЛ 6	
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	68
6.1. Нормативи технічної експлуатації іскрових свічок запалювання	68
6.2. Оцінка техніко-економічної ефективності запропонованої системи технічної експлуатації.....	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

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.

Крім того, дуже важливо проводити діагностування, технічне обслуговування (ТО) і ремонт (заміну) елементів СЗ 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 елементів СЗ бензинових автомобільних двигунів, особливо ІСЗ.

Метою роботи є розробка нормативів технічної експлуатації й методів діагностування елементів системи запалювання автомобільних двигунів.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 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 і 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 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) .

Режими 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 неремontованих). Останній задається у вигляді формул або в матричному вигляді. В обох випадках задаються довірчі межі. На транспорті

через 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 самостійна 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.

Ташкентським автомобільно-дорожнім інститутом проводилися роботи з дослідження надійності автомобілів ВАЗ. У них докладному аналізу були піддані відмови елементів СЗ в умовах жаркої кліматичної зони. Наведені в літературі "середні напрацювання" представляються парадоксальними:

- вимикач запалювання 12,0 тис. км;
- розподільник запалювання 15,0 тис. км;
- іскрові свічки запалювання 15,8 тис. км;

Можна припустити, що маються на увазі середні напрацювання виробів, що відмовили, не є стандартними показниками надійності по.

Одна з перших робіт, по дослідженню експлуатаційної надійності ІСЗ авіаційних двигунів була проведена ще в 1953 р. В. А. Чистихіним. Найбільший інтерес представляють отримані ним залежності шунтувальних опорів на ІСЗ від складу робочої суміші і кута випередження запалювання (рис. 1.1 і 1.2).

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 1958 р. була опублікована робота М.М. Черкасова, який досліджував надійність ІСЗ типу М12В (118 шт.) і А16В (78 шт.) при роботі на автомобілях М-20 "Перемога", ГАЗ-51 і ЗИЛ-150. Виміри міжелектродного зазору і шунтуючого опору проводилися ним через кожні 1000 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. Однак зроблені їм висновки про відсутність впливу напрацювання на утворення значного струмопровідного шару нагару, очевидно не узгодяться з даними його власного експерименту, оскільки ІСЗ, що пропрацювали на двигуні до 10 тис. км, мали шунтувальні опори від 5 до 20 МОм, тобто по СВ. Стародубцеву всі були несправні.

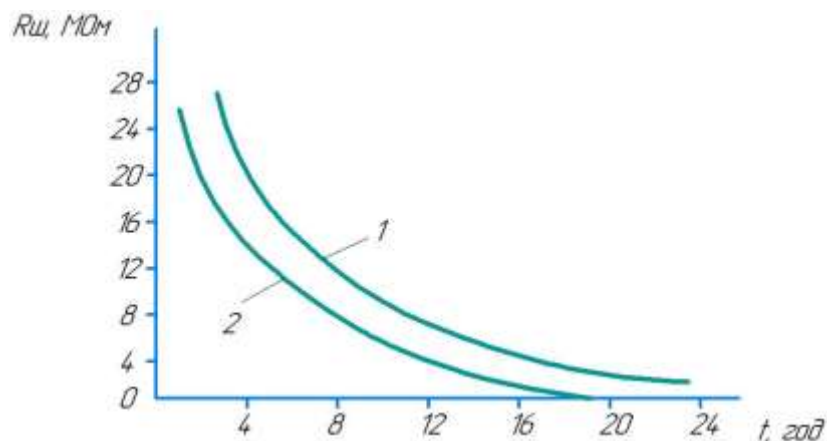


Рисунок 1.1 – Зміна шунтуючого опору на ІСЗ від напрацювання при різних кутах випередження запалювання: 1 – КВЗ = 20°; 2 – КВЗ = 40°.

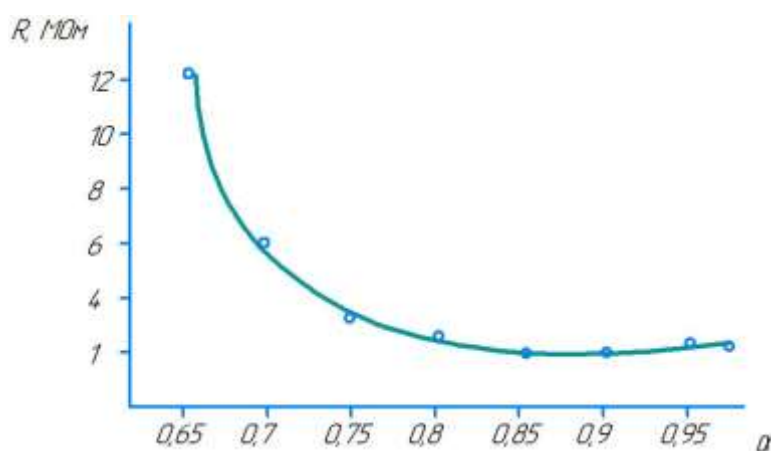


Рисунок 1.2 – Залежність шунтувальних опорів на ІСЗ від складу робочої суміші.

У 60-х роках у зв'язку з появою марганцевих антидетонаторів була проведена ціла серія науково-дослідних робіт з вивчення впливу цих антидетонаторів на надійність ІСЗ. М.О. Лернер в 1961 р. досліджував роботу двигуна МЗМА-407 при роботі на бензині з додаванням циклопентадиєнілтрикарбоніла марганцю. Ним було виявлено поступове накопичення нагару, що викликає зменшення потужності і перебої в роботі двигуна. Цікаво, що ці явища відбувалися в результаті утворення струмопровідних містків між центральним і бічним електродом, а не через шунтування ІСЗ по тепловому конусу.

Оскільки марганцеві антидетонатори не знайшли широкого застосування, результати цих робіт у теперішній час великого інтересу не становлять.

В. І. Шаховцевим в 1963 р. була проведена робота з подальшого дослідження надійності ІСЗ. Ним був вивчений процес зміни форми електродів і пов'язаного з ним підвищення пробивної напруги, надана класифікація видів нагару на тепловому конусі ІСЗ:

1. Нагар зі спечених часток масла і продуктів неповного згоряння палива, що виникає в результаті тривалих поступових відкладань на тепловому конусі ІСЗ.

2. Кіптява, що утворилася в результаті неповного згоряння палива з виділенням сажі, яка легко усувається при підвищенні температури.

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, карбюратора або при неправильному виборі теплової характеристики ІСЗ.

Найбільш значним дослідженням надійності ІСЗ дотепер є робота В.А. Набоких. У результаті проведення експерименту колосального обсягу ним були отримані коштовні дані про процес нагароутворення на ІСЗ. Для виміру значень шунтувальних опорів на ІСЗ працюючого двигуна був розроблений спеціальний прилад ІШС, що вимірює значення R_{III} 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 різким відкриттям дроселя на ділянці 500...1000 м;
- міська їзда в умовах інтенсивного руху по маршруту "Велика троянда".

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 працюючих двигунів ЗИЛ-130, ЗМЗ-53 і ГАЗ-21 показали, що при різких відкриттях і закриттях дросельної заслінки спостерігається короткочасне (у ході 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 і інших продуктів типу олефінів у результаті порушення процесів горіння. Кислі лакові продукти, які утворюються на поверхні ізолятора, можуть до моменту свого вигорання бути провідниками електрики.

Дослідженню надійності було піддано 560 ІСЗ автомобілів ЗИЛ-130 і ГАЗ-53, що експлуатувалися на неетильорованому бензині в 1965...68 рр.

Результати досліджень (рис. 1.3) 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.

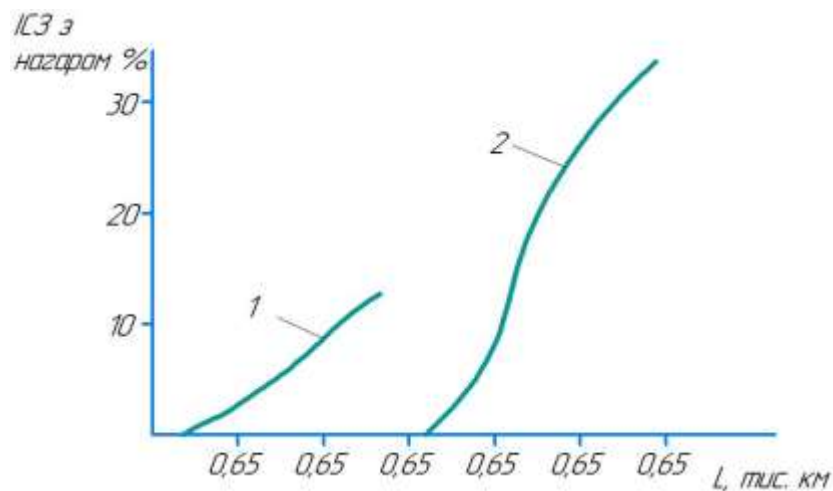


Рисунок 1.3 – Частота появи ІСЗ із нагаром: 1 – $R_{III} < 100$ МОм; 2 – $R_{III} < 10$ МОм.

Можна припустити, що В.А. Набоких спостерігав 2 різних процеси: незначне зниження R_{III} , викликане відкладанням тугоплавких продуктів згоряння і спрацювання деталей шатунно-поршевої групи і помітне зниження

R_{III} 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_{III} не дозволило авторів отримати законів розподілу наробітків на відмову.

В 1983 р. Х. Мирзамамедов піддав подальшому дослідженню процес спрацювання електродів ІСЗ. Ним було випробувано 424 нових ІСЗ А9Н (СН432) виробництва Тюменського заводу АТЕ, установлені на автомобілі ЗИЛ-130, що постійно експлуатувалися з одним двохосьовим причепом в умовах жаркого клімату. Спостереження здійснювалися до пробігу 50 тис. км.

Крім того Х. Мирзамамедовим було проведене дослідження надійності ІСЗ на групі з 29 автомобілів ЗИЛ-130, частина з яких постійно експлуатувалася без причепа, а частина – з одним і двома двохосьовими причепами.

За експериментальними даними автор отримав закон розподілу напрацювань на відмову ІСЗ за критерієм спрацювання електродів, названий ним "ПО-розподілом". Щільність По-розподілу виражається формулою:

$$f(L) = \frac{L_{от}}{2\pi L^2} \exp \left[\frac{-0,5}{v^2} \left(\frac{L_{от}}{L-1} \right)^2 \right], \quad (1.1)$$

де $L_{от}$ – "середній" безвідмовний пробіг, тис. км. $L_{от} = \Delta\delta/m$; v – середня швидкість збільшення зазору, мм/тис. км.

У якості максимально допустимого зазору для автомобіля ЗИЛ-130 Х. Мірзамамедов 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 без причепа 62,5 % ІСЗ виходять із ладу через шунтування іскрового проміжку нагаром, а при роботі із причепами ця несправність практично не спостерігається. Це явище пояснюється ймовірно тим, що при роботі із причепом тепловий режим двигуна, а отже і ІСЗ, більш напружена.

На жаль число автомобілів без причепа було у вибірці відносно невеликим, - основну частину становили автомобілі, що постійно експлуатували-

ся із причепами. Очевидно через це в імовірність шунтування ІСЗ прийнята несуттєвою. Тому розрахований автором середній ресурс ІСЗ для автомобіля ЗИЛ-130, 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 1986 р. була опублікована робота, у якій досліджувався вплив різних експлуатаційних факторів на надійність ІСЗ двотактного двигуна 2 СД-М1.

Незважаючи на великі відмінності в умовах роботи двох- і чотиритактних двигунів, наведені в дані становлять значний інтерес. В програму експериментів входило дослідження впливу на безвідмовність ІСЗ зольності і типу моторного масла, концентрації масла 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.

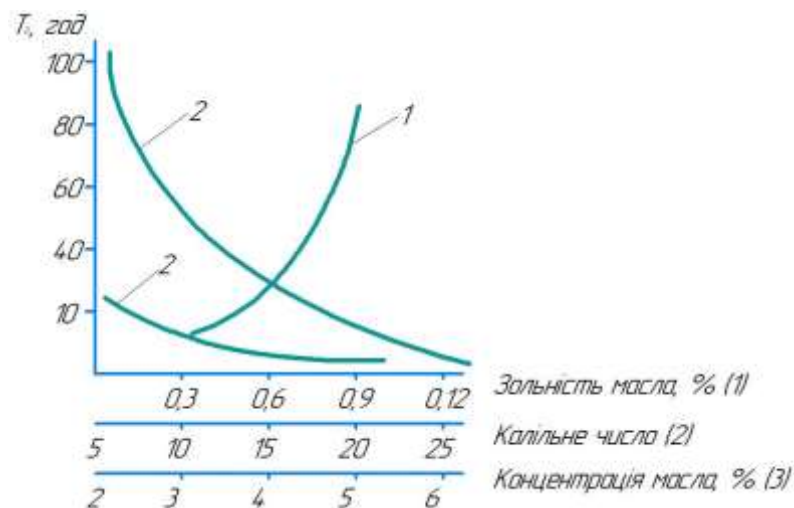


Рисунок 1.4 – Залежність середнього наробітку на відмову ІСЗ від калильного числа ІСЗ, зольності і концентрації масла в паливі

Дослідження показали, що зі збільшенням зольності масла 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 ТЕС у паливі також знижували безвідмовність ІСЗ (рис. 1.4).

1.2 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 Э-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 малоефективною, 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.

Прилади перевірки ІСЗ, подібні Э-203П з'явилися ще в 20-х роках і з тих пір піддалися досить незначним 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. Стародубцевим в 1944 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. 1.5 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 мал. 1.6. При цьому збільшується напруга і зменшується тривалість індуктивної фази розряду.

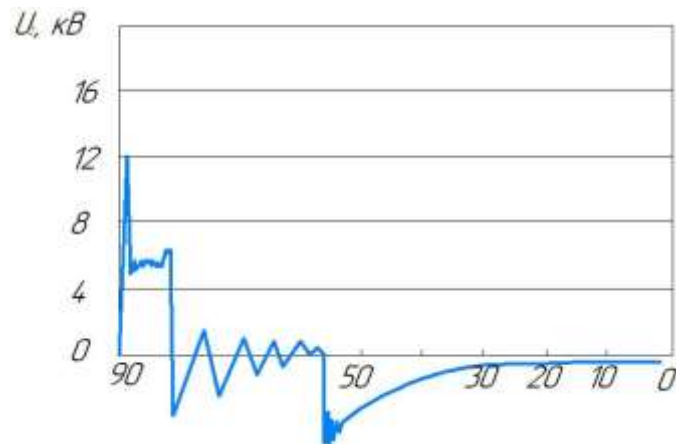


Рисунок 1.5 – Осцилограма вторинної напруги справної СЗ

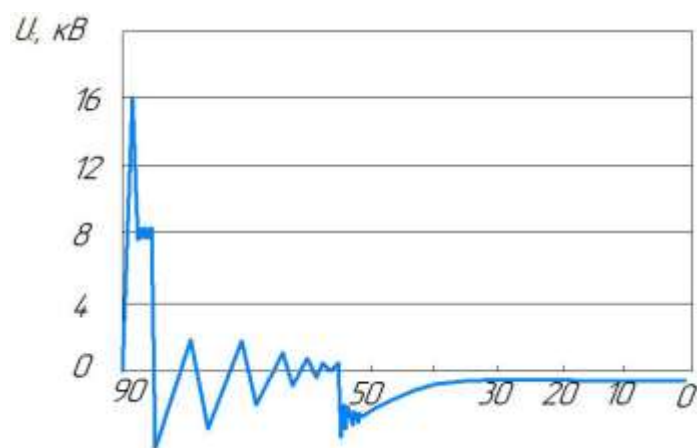


Рисунок 1.6 – Осцилограма вторинної напруги при збільшенні міжелектродного зазору ІСЗ

При замиканні електродів ІСЗ або при заземленні проводу високої напруги спостерігається збільшення тривалості індуктивної фази і зменшення пробивної напруги (рис. 1.7).

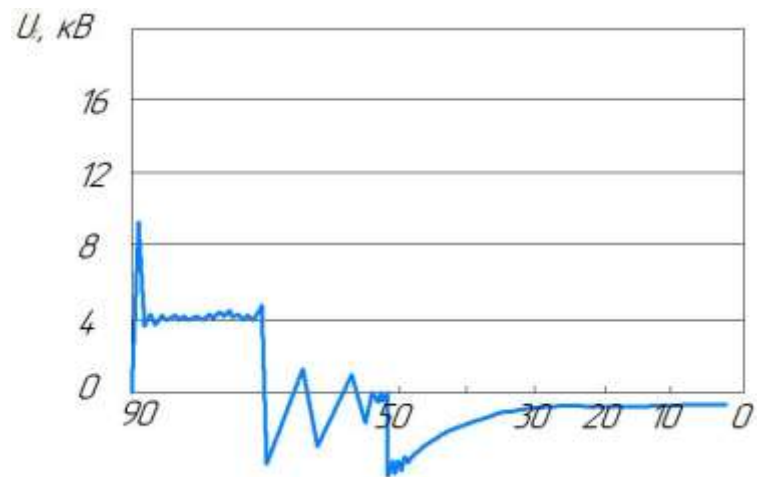


Рисунок 1.7 – Осцилограма вторинної напруги при замиканні електродів ІСЗ

Схожа картина спостерігається при зменшенні між електродного зазору і забрудненні ІСЗ. При цьому лінії піка вторинної напруги мають розриви (рис. 1.8).

Наявність нагару на електродах ІСЗ викликає на ділянці горіння дуги появу загасаючих коливань у вигляді мерехтливих крапок (рис. 1.9).

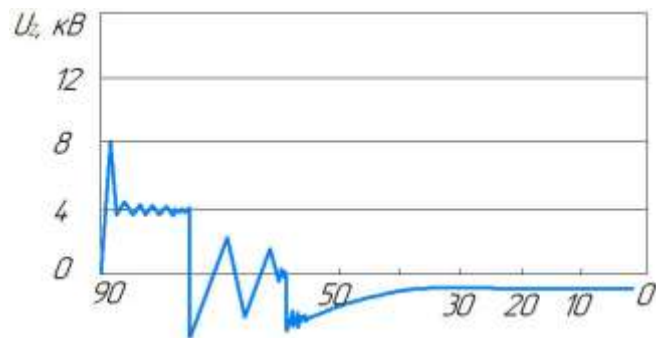


Рисунок 1.8 – Осцилограма вторинної напруги при зменшенні міжелектродного зазору ІСЗ

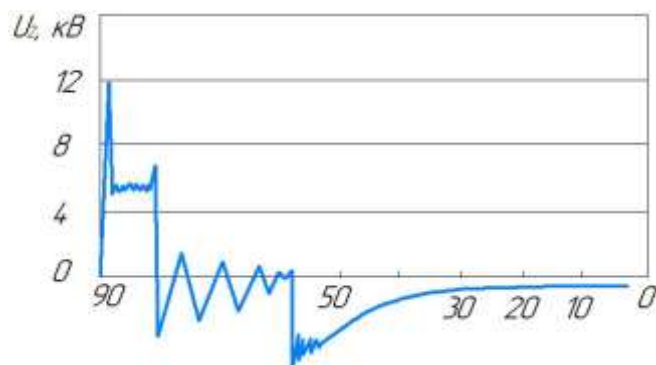


Рисунок 1.9 – Осцилограма вторинної напруги при наявності нагару на електродах ІСЗ

Для здійснення методу еталонних осцилограм у нашій країні випускається кілька діагностичних стендів: Э-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 1983 р. СВ. Ловчагіним було отримано авторське посвідчення СРСР 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 СВ. Ловчагіна, що вимірює струм розряду на ІСЗ працюючого двигуна.

Обидва ці способи були випробувані в НИИАТ в 1987 р. Випробування показали недостатню достовірність діагностування ІСЗ цими приладами.

Е.Е. Махновській в 1989 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 тр пробивної

напруги U_{np} і напруги індуктивної фази розряду U_d при наявності несправностей у СЗ (табл. 1.1...1.3).

Таблиця 1.1 – Діагностичні параметри справної СЗ

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

Таблиця 1.2 – Збільшений міжелектродний зазор ІСЗ

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

Таблиця 1.3 – Шунтування іскрового проміжку

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

В 1990 р. у МАДІ 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. 1.10...1.11).

Результати цих досліджень дозволяють із успіхом діагностувати елементи СЗ, але вимагають використання осцилографів, або складної мікропроцесорної техніки на рівні бортових комп'ютерів.

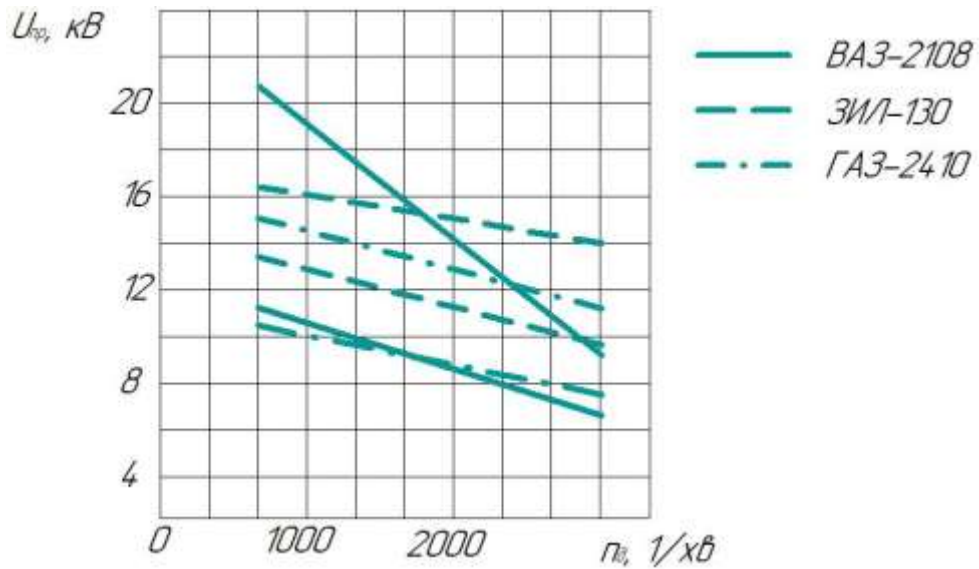


Рисунок 1.10 – Допустимі значення пробивних напруг

Найбільш просте діагностування ІСЗ може бути здійснене за допомогою приладу, запропонованого в 1980 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.

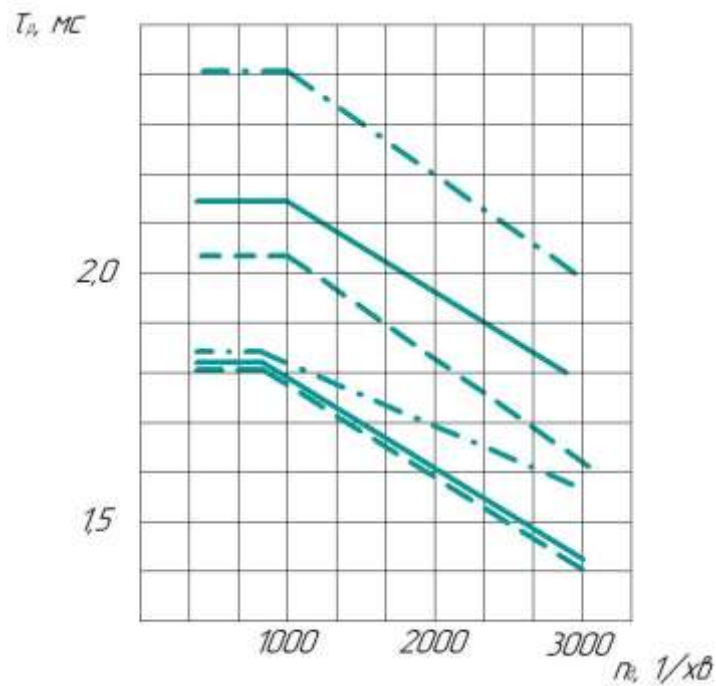


Рисунок 1.11 – Допустимі значення тривалості розряду

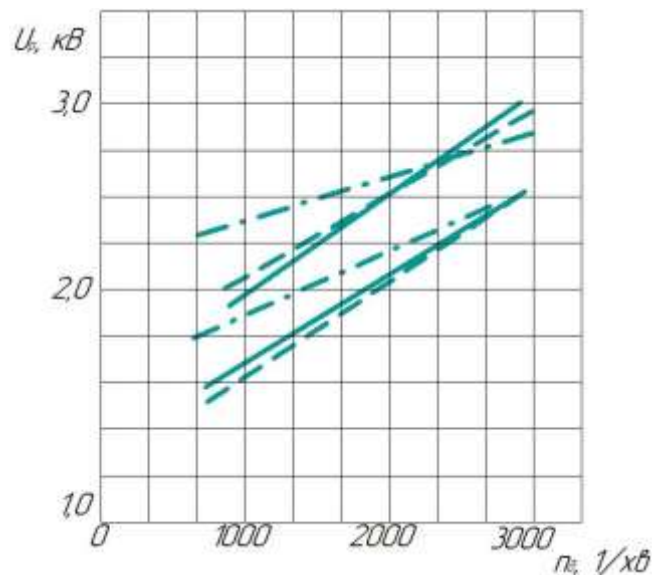


Рисунок 1.12 – Допустимі значення напруги індуктивної фази розряду.

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

Таблиця 1.4 – 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 1985 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. Прокудина для двигуна ЗМЗ-66.

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 стій-

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

За експериментальними даними І.Н. Прокудін побудував межу стійкої роботи двигуна залежно від частоти обертання колінчастого вала (рис. 1.13).

Експерименти І.Н. Прокудіна показали, що при високих частотах обертання колінчастого вала (більш 2000 хв^{-1}) робота двигуна ЗМЗ-66 можлива навіть при $R_{ш}=150 \text{ кОм}$. У той же час на мінімальних 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 в 1943 р. С.В. Стародубцев, який використовував як об'єкти спостереження ІСЗ типу ВГ-2, що пропрацювали до 50 годин на двигунах М-105 і М-103 літаків Пе-2 і СБ.

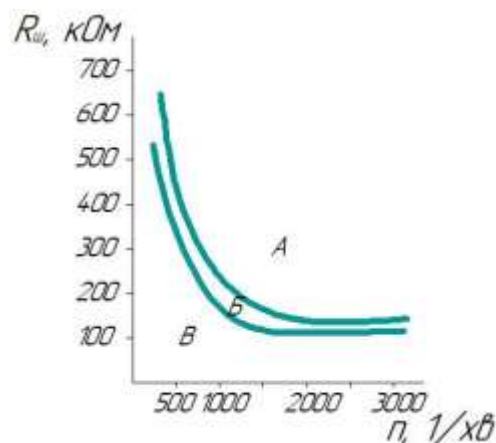


Рисунок 1.13 – Межа стійкої роботи двигуна: А - зона стійкої роботи двигуна; Б - зона, у якій спостерігаються перебої; В - зона відмов циліндра.

Дослідження показали, що при температурі, що перевищує 200°C , опір нагару підкоряється формулі:

$$R_2 = R_1 \exp\left(8600 \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}\right), \quad (1.2)$$

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 вологи, 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 СВ. 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, СВ. 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 СВ. Стародубцевим серйозні експерименти по вивченню цього питання показали, що при підвищенню вологості повітря відбувається помітне підвищення провідності нагару (рис. 1.14). Втім, при цьому провідність нагару по даним не досягає небезпечно великих значень.

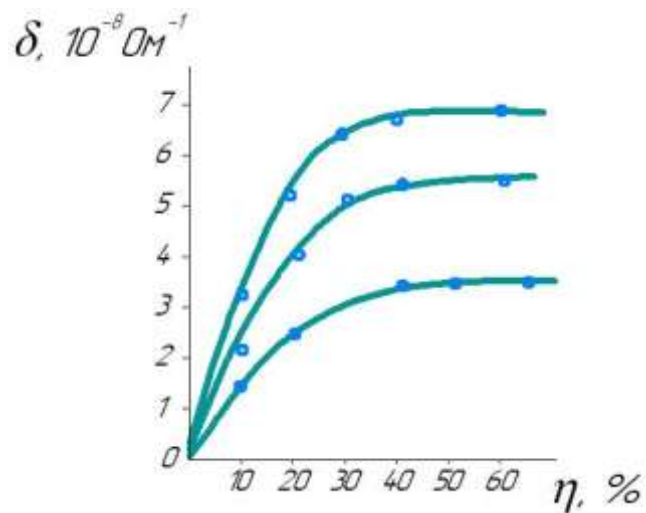


Рисунок 1.14 – Залежність провідності холодного нагару від відносної вологості повітря.

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.

Висновки за розділом

У результаті аналізу літературних джерел можна зробити наступні висновки.

1. Найменш надійними елементами СЗ є ІСЗ. Процеси їх старіння досліджені недостатньо. Найменше вивчені причини утворення нагару на тепловому конусі 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.

3. Застосування запропонованого П.Б. Башмаковим способу діагностування ІСЗ по пробивній напрузі й опору нагару в холодному стані неможливо через відсутність відомостей про припустимі значення шунтувальних опорів.

4. У цей час немає даних, що дозволяють обґрунтовано встановити критичний опір нагару на ІСЗ при робочій температурі й визначити режим роботи двигуна, найбільш несприятливий для роботи ІСЗ.

5. Перешкодою для дослідження надійності ІСЗ є відсутність критерію їх відмови.

Метою досліджень є підвищення економічних та екологічних показників двигунів внутрішнього згоряння завдяки дослідженню технічного стану іскрових свічок запалювання.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні завдання:

- дослідити надійність елементів СЗ автомобілів в умовах експлуатації;
- встановити сукупність ознак порушення працездатного стану ІСЗ, які можуть бути виявлені за допомогою нескладного діагностичного обладнання;
- розробити методику розрахунків оптимальної періодичності заміни ІСЗ;
- розробити методику складання оптимальних алгоритмів пошуку причин відмов СЗ на підставі відомостей про надійність її елементів.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Закономірності температурних змін електричних властивостей нагару, що утворюється на тепловому конусі іскрової свічки запалювання

При роботі двигуна на його деталях відбувається відкладання речовин трьох видів: нагар, лак і відкладення (шлам).

Нагар являє собою тверді вуглецеві речовини, що відкладаються під час роботи двигуна на поверхні камери згання, днищі і головці поршня. Залежно від умов його виникнення нагар відрізняється по кольору, твердості і структурі.

Лак – це продукт окислення тонких масляних плівок, що покривають деталі двигуна під дією високих температур.

Відкладення (шлам) складається із продуктів окислення вуглеводнів із продуктами забруднення картерного масла, емульсіями і водою.

На тепловому конусі ІСЗ в основному відкладаються речовини, які умовно можна класифікувати, як нагар.

Утворення нагару на деталях камери згорання відбувається з неоднаковою інтенсивністю в ході експлуатації двигуна. Найбільше інтенсивно нагар відкладається в початковий період роботи двигуна. Потім його утворення поступовий уповільнюється і до пробігу 10...16 тис.км. наступає стан рівноваги. Це явище пояснюється очевидно тим, що при утворенні достатньо великого шару нагару, температура його зовнішнього шару збільшується. При цьому відбувається так зване вигоряння його зовнішнього шару. У стані рівноваги вигоряння і видалення нагару з відпрацьованими газами, відбувається зі швидкістю, рівною швидкості його утворення.

Утворення нагару починається з появи на поверхні ізолятора смолисто-лакової плівки, що утворюється в результаті високотемпературного окислення палива і масла, що відбувається в тонкому шарі безпосередньо на поверхні теплового конуса.

Особливо інтенсивно нагар утворюється на режимах холостого ходу і малих навантажень – тобто при порівняно низьких температурах.

При експлуатації двигуна на етильованому паливі крім вуглецевих відкладень на тепловому конусі ІСЗ утворюються хлорид і бромід свинцю, які при роботі двигуна на більших навантаженнях під дією високих температур можуть перетворюватися в металевий свинець. При подальшому підвищенні температури нижньої частини ізолятора із часом утворюються з'єднання з більш високою температурою плавлення. Однак безсумнівно, що тепловий конус ніколи не покривається шаром металевого свинцю, оскільки надзвичайно висока його провідність негайно порушувала б роботу ІСЗ.

Наявність у камері згоряння деякої кількості моторного масла викликає відкладання основ металів, що входять до їхнього складу. Реагуючи зі складними солями свинцю вони утворюють з'єднання $BaSO_4$ і $Pb_5(OH)(PO_4)_3$.

Хімічні перетворення речовин, що становлять нагар на ізоляторі ІСЗ при роботі двигуна на етильованому бензині можуть відбуватися приблизно за наступною схемою:

При малих навантаженнях двигуна утворюється $PbBr_2$, а в міру підвищення температури теплового конуса створюються умови для утворення усе більш складних з'єднань свинцю: $PbOPbBr_2$, $2PbOPbBr_2$, $3PbOPbBr_2$, $7PbOPbBr_2$, $PbSO_4$ і, нарешті, $4PbOPbBr_2-S_{10}$.

Дослідження хімічного складу нагару, що утворюється при експлуатації двигуна на неетилованому бензині показують наявність у них продуктів спрацювання деталей двигуна: міді, заліза, алюмінію і продуктів згоряння робочої суміші: кальцію, цинку, барію, кремнію. Метали в чистому вигляді і хімічно чиста сажа очевидно містяться в складі нагару в дуже невеликій кількості. На це вказує крім високого опору нагару, його властивість збільшувати свою провідність при нагріванні, не властиве провідникам.

Величина питомого опору нагару дозволяє по визначенню класифікувати його як напівпровідник.

Число носіїв заряду в напівпровідникf виражається формулою:

$$N = N_0 \exp[-U/(k \cdot T)], \quad (2.13)$$

де U – енергія активації, еВ; k – постійна Больцмана. $k = 8,6167 \cdot 10^{-5}$ Дж/К; T – абсолютна температура, К; N_0 – число молекул в одиниці об'єму.

Число носіїв заряду, що перебуває в зоні провідності, визначає електричні властивості напівпровідника. Для напівпровідника з електронною провідністю справедлива наступна залежність:

$$\delta = \delta_0 \exp[-U/(2k \cdot T)], \quad (2.14)$$

де δ – провідність речовини при температурі T ; δ_0 – провідність при температурі 293 К, Ом; U – енергія активації, еВ; k – постійна Больцмана, Дж/К; T – абсолютна температура, К.

Зменшення опору, що впливає з (2.14), пояснюється тим, що електрони, що входять до складу атома, перебувають на дискретних енергетичних рівнях, причому кожний електрон має енергію, величина якої є строго певною. Зовнішні, так звані валентні, електрони порівняно слабо пов'язані з атомними ядрами і можуть бути відірвані і перетворені в електрони провідності, для чого їм необхідно надати деяку кількість енергії, називаною енергією активації. Така енергія може бути надана електронам тепловими коливаннями атомів решітки, електромагнітними хвилями, потоком швидких часток, впливом сильного електричного поля і т.п.

Експерименти С.В. Стародубцева показали, що в діапазоні температур від 473 до 873 К провідність нагарів, утворених у результаті згоряння етильованого авіаційного бензину, підпорядковується (2.14). При більш низьких температурах у число провідників включаються іони, які сорбувались нагаром вологи, що утворює розчин з компонентами нагару. Незважаючи на гадану парадоксальність присутності води в нагарі, температура якого перевищує температуру кипіння води на 100 градусів, вона підтверджена експериментально. С.В. Стародубцевим виявлена е.р.с. поляризації в нагарі, що спостерігається при відносно низьких температурах і зникаюча при температурі 473 К. Висушування нагару приводить до зменшення провідності в 16...20 раз стосовно вихідної величини.

Становить інтерес з'ясування того, наскільки однорідний нагар з погляду свого хімічного складу. Оскільки речовини, що входять до його складу, є продуктами неповного згоряння палива, моторного масла із включеннями металевих часток, що утворюються в результаті спрацювання деталей циліндр-поршневої групи, очевидно на композицію нагару конкретної ІСЗ впливають сорт палива і масла, концентрація масла, пов'язана з технічним станом двигуна і ін. фактори. Тому не можна погодитися із твердженням, що хімічний склад однорідний, а відмінності в провідності пояснюються лише товщиною їх шару.

Більш імовірно, що енергія активації нагарів є деякою функцією їх хімічного складу і являє собою середнє значення енергії активації окремих атомів. Однак хімічний склад нагару не може бути визначений яким-небудь досить простим способом, для того щоб використовувати знання його при діагностуванні ІСЗ.

Тому для достовірного діагностування ІСЗ слід застосовувати значення верхньої границі енергії активації при довірчій імовірності, обраної відповідно до необхідної для даних умов достовірністю.

Виявлена СВ. Стародубцевим стабілізація провідності при відносній вологості повітря, що перевищує 30 %, представляється досить сумнівною. Проведений нами експеримент, який заключається в обробці водяною парою холодної ІСЗ, що мала до цього опір нагару 40000 МОм при відносній вологості повітря 60 %, показав зниження опору до 1 кОм, що явно перебуває за межами надійності. До таких же висновків приводить і досвід експлуатації автомобілів, пуск двигунів яких при високій вологості повітря часто буває утруднений. Однак важко судити, яку роль відіграє тут витік струму по нагару на ІСЗ, а яку – зволоження інших елементів високовольтного ланцюга. До того ж тепловий конус перебуває в атмосфері, ізольованою від навколишнього повітря, що має на увазі неоднакову вологість зовні і усередині камери згоряння.

Таким чином, розв'язок перерахованих тут питань може бути завданням подальших досліджень, які дозволять розробити заходи щодо поліпшення пускових властивостей бензинових двигунів.

2.2 Ранжування факторів, що впливають на нагароутворення

Аналіз літературних даних показує, що факторами, які спричиняють утворення нагару на тепловому конусі ІСЗ є:

- сорт палива;
- наявність у паливі ТЕС;
- сорт моторного масла;
- технічний стан двигуна;
- кут випередження запалювання;
- наробіток ІСЗ;
- конструктивні особливості двигуна, СЗ, ІСЗ;
- характерні режими експлуатації двигуна.

Схильність автомобільних бензинів до нагароутворення залежить крім відмінностей у товарних сортах, від технології виготовлення, якості вихідної сировини, наявності тетраетил свинцю.

Серед компонентів автомобільних бензинів найменшу схильність до нагаро утворення мають продукти прямої перегонки нафти. При роботі двигуна на бензинах прямої перегонки утворюється всього 5...13 мг/год нагару. Найбільша кількість нагару утворюється при згорянні бензинів термічного крекінгу і каталітичного риформінга твердого режиму. Вони утворюють в 6...7 раз більше нагару, ніж бензини прямої перегонки. Компоненти, отримані в результаті інших каталітичних процесів, займають проміжне положення.

Таким чином, найбільший вплив на процес утворення нагару виявляє зміст у паливі неграничних і ароматичних вуглеводнів (ВВ), причому зміст неграничних ВВ більш шкідливо. У присутності великої кількості неграничних ВВ, ароматичні ВВ практично не впливають на утворення нагару. Однак сучасні високооктанові бензини містять як правило невелику кількість неграничних ВВ. Тому нагароутворення в результаті згорання таких бензинів в

основному визначається кількістю і структурою ароматичних УВ, які містяться в них. Останні, маючи високу молекулярна вагу і температуру кипіння, очевидно перебувають у циліндрах двигуна довгий час у рідкій фазі і служать джерелом нагару, у той час як компоненти палива з нижчою температурою кипіння встигають випаруватися ще у впускній системі двигуна і під час такту стиску робочого циклу.

Значний вміст сірки в складі нагару говорить про те, що на процес його утворення впливає наявність у паливі сірчистих з'єднань.

Оскільки хімічний склад палива в нашій країні ДСТ не регламентований, кількість його окремих компонентів варіюється в досить широких межах.

Товарний бензин, що використовується у двигунах з невисоким ступенем стиску, містить велику кількість продуктів каталітичних процесів. У нього входять бензини каталітичного крекінгу і платформингу звичайного режиму з додаванням невеликої кількості бензинів прямої перегонки і термічного крекінгу. Етильований бензин містить тетраетилсвинець (ТЕС) у кількості не більше 0,82 г/кг. Неетильований бензин отримують шляхом збільшення вмісту компонентів каталітичних процесів.

Бензин А-95 складається тільки із продуктів каталітичних процесів. Головним компонентом бензину А-95 є бензин платформинга твердого режиму, який залежно від композиції становить у ньому від 47 до 77 %. До складу бензину А-95 входять також бензини прямої перегонки, каталітичного крекінгу і ін. компоненти. Етильований бензин А-95 містить у собі крім того до 0,82 г/кг ТЕС.

Зміст сірки в товарних бензинах коливається від 0,01 до 0,3 %.

За винятком територій великих міст і курортних зон у нашій країні повсюдно для підвищення детонаційної стійкості бензинів застосовується етилова рідина, що складається з ТЕС і вивідника, що являє собою галоїдні з'єднання бром або хлору. Нобхідність додавання в ТЕС вивідника пояснюється тугоплавкістю продуктів згоряння ТЕС. Основний з них – окис свинцю має температуру плавлення 880°C. Вивідник же при згорянні утворює з'єднання

свинцю з більш низькою температурою плавлення. Однак навіть у присутності вивідника повного згоряння ТЕС не відбувається. Як показують дослідження, концентрація ТЕС помітно впливає на нагароутворення. Наприклад, наявність у бензині ТЕС у кількості 0,82 г/кг збільшує нагароутворення в 1,5...1,6 рази.

Таким чином, для підвищення детонаційної стійкості палива використовуються речовини, які так чи інакше призводять до збільшення нагароутворення. Однак зробити висновок про те наскільки великий вплив кожного з компонентів при роботі двигунів на бензинах, що мають різний композиційний склад (що має місце в реальній експлуатації) не представляється можливим. Слід уважати, що великий вплив на властивості палива утворювати нагар є наявність ТЕС у бензинах того регіону, де експлуатується даний автомобіль.

Таблиця 2.1 – Вплив ТЕС на нагароутворення у двигуні

Концентрація ТЕС у бензині, г/кг	Нагароутворення у двигуні, мг/год	
	бензин N 1	бензин N 2
0,00	25	22
0,41	30	25
0,82	39	35
1,64	67	65

Вплив сорту моторного масла пояснюється неминучою наявністю його в камері згоряння поршневого двигуна. Масло може проникати в неї двома шляхами: через зазор між циліндром і поршнем і через зазор між стержнем клапана і маслоутримуючими ковпачком. У двотактних же бензинових двигунах масло в значних кількостях (близько 4 %) добавляється в паливо.

Дослідженнями встановлено, що найбільш схильним до утворення нагару на ІСЗ моторне масло М-6з/10В. У порівнянні з ним масло М-8В1 показало в 2,25 рази більший середній наробіток на відмову ІСЗ. Експерименти показали, що для масел, що показали низькі наробітки ІСЗ характерна наявність у композиціях алкілсаліцилатної присадки, яка виконує в маслах миючі функції.

В.А.Чистихін виявив помітний вплив на надійність ІСЗ складу паливо-повітряної суміші і кута випередження запалювання.

Відзначене в дослідженнях зниження температури ІСЗ, пов'язане з поступовим зниженням ступеня стиску у двигуні, також може негативно позначатися на процесі самоочищення ІСЗ у режимах малих навантажень. Однак дослідження надійності ІСЗ при роботі на двигуні зі зношеними деталями циліндро-поршневої групи не представляє практичного інтересу.

Вплив наробітку ІСЗ на її надійність може проявлятися в різних видах. Скруглення і спрацювання електродів приводить до підвищення пробивної напруги, а отже до зниження максимально припустимої провідності нагару на тепловому конусі ІСЗ. Приблизні розрахунки показують, що скруглення країв електродів ІСЗ викликає підвищення пробивної напруги, рівносильне збільшенню міжелектродного зазору на 0,2 мм. Зменшення ж зазору, за допомогою якого можна компенсувати підвищення пробивної напруги, приводить до гасіння первинного вогнища запалювання електродами. Таким чином, робота свічки деяким чином погіршується. Однак це питання безсумнівно вимагає більш докладного кількісного дослідження, що включає лабораторні експерименти.

Характерною несправністю ІСЗ (А17ДВ), відзначеною А.Ф.Михайловим, є обрив теплового конуса, що спостерігається в основному в початковому періоді експлуатації, а отже пов'язаний із грубими порушеннями технології виготовлення. Особливістю несправностей, що мають такий закон розподілу, є неможливість впливу на надійність об'єктів шляхом технічного обслуговування. У цьому випадку потрібно змінити технологію виготовлення або значно збільшити тривалість заводських випробувань, максимально наблизивши їх до умов експлуатації.

Вплив наробітку на утворення нагару на тепловому конусі дотепер вивчене недостатньо. Відомості, отримані С.В.Стародубцевим для ІСЗ авіаційних двигунів не можуть бути використані, оскільки в авіаційних бензинах міститься майже в 3 рази більше ТЕС, ніж в автомобільних. Можливо, що і саме явище поступового утворення нагару на ІСЗ у міру збільшення наробіт-

ку зовсім нехарактерно для ІСЗ автомобільних двигунів або характерно меншою мірою. Збільшення числа відмов ІСЗ автомобілів, яке спостерігав В.А.Набоких після пробігу рівного 70 тис. км., може пояснюватися спрацюванням двигунів, жиклерів карбюраторів і ін. Отже, вплив наробітку на утворення нагару не можна вважати до теперішнього час досить вивченим, а розгляд цього питання з теоретичної точки зору не дозволяє прийти до яких-небудь однозначних висновків.

Параметрами двигуна і СЗ, що чинять найбільший вплив на надійність ІСЗ є очевидно коефіцієнт запасу по вторинній напрузі і швидкість його наростання. Мікропроцесорні СЗ із крутим фронтом наростання вторинної напруги і значним його запасом, менш вимогливі до технічного стану ІСЗ, а отже, дозволяють використовувати ІСЗ із такою величиною провідності нагару, яка привела б до порушення працездатності інших СЗ. Тиристорні СЗ здатні працювати при значному нагарі на тепловому конусі, але досить чутливі до величини міжелектродного зазору.

Незначне збільшення спрацювання електродів (на 11...15 %) виявлене в циліндрах двигуна, розташованих поблизу карбюратора. Це явище можна пояснити кращим наповненням цих циліндрів горючою сумішшю і як наслідок, більш високими середніми тиском і температурою циклу, що супроводжується більш сильним нагріванням електродів.

Як показали дослідження, проведені в НПО "Автоелектроніка", конструктивні особливості ІСЗ також впливають на показники їх надійності. Крім матеріалу і форми електродів, що визначають процес їх спрацювання, істотною виявилася довжина теплового конуса, від якої залежить стійкість ІСЗ до утворення нагару. "Гарячі" ІСЗ, що мають більш довгий тепловий конус, є більш стійкими до нагарообформування, ніж "холодні". Особливо надійними в цьому сенсі є ІСЗ із виступаючим тепловим конусом, який крім значної довжини, має корисну властивість швидко змінювати свою температуру на перехідних режимах роботи двигуна.

Характерні режими роботи двигуна впливають як на спрацювання електродів, так і на процес нагароутворення, оскільки визначають середню тем-

пературу, при якій працює ІСЗ. Робота автомобіля, пов'язана з постійним значним навантаженням (наприклад при буксируванні причепів), приводить до підвищеного спрацювання електродів, але практично ліквідує нагароутворення на тепловому конусі. Найбільше інтенсивно нагар утворюється при їзді по міському циклу, особливо при роботі рейсових міських автобусів (по опитуванню, проведеному серед водіїв). Тому при розробці нормативів технічної експлуатації необхідно враховувати умови експлуатації автомобілів.

Для апріорного ранжирування факторів проведено експертне опитування серед фахівців галузі. Експертам пропонувався список факторів табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Фактори, піддані апріорному ранжируванню

Фактори	Найменування факторів	Розмірність	Рівні варіювання	
			нижн.	верхн.
X1	Сорт палива	Окт. число	76	93
X2	Кількість тетраетил-свинцю в паливі	г/кг	0	0,82
X3	Коефіцієнт надлишку повітря на характерних режимах експлуатації		0,80	1,40
X4	Напрацювання свічки	тис. км	0	60
X5	Кут випередження запалювання	град.	-10	+40
X6	Відхилення межелектродного зазору від номінального значення	мм	-0,3	+0,3
X7	Зольність моторного масла	%	0,3	1,2
X8	Калильне число свічі	-	9	23
X9	Наявність виступаючого теплового конуса	-	-	+

За результатами опитування була складена матриця рангів (табл. 2.3)

Ступінь погодженості фахівців оцінимо коефіцієнтом конкордації:

$$W = S / [m^2 (n^3 - n) / 12 - m \sum_{i=1}^n T_1] \quad (2.15)$$

де S – сума квадратів відхилень від середньої суми рангів; m – число опитованих фахівців; n – число факторів;

$$T_1 = l / 12 \sum_{j=1}^m (t_j - t_{j-1})$$

$$W = 8055 / [20^2 (9^3 - 9) / 12 - 20 \cdot 14,5] = 0,340$$

Таблиця 2.3 – Матриця рангів

Спеціалісти	Фактори								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1-й	7	2	1	3	4	9	8	6	5
2-й	2	1	3	4	8	7	9	5	6
3-й	6	5	1	4	9	8	7	3	2
4-й	8	3	5	1	9	6	7	4	2
5-й	9	1	2	3	4	5	6	7	8
6-й	8	2	4	3	7	9	5	6	1
7-й	6	3	2	1	9	9	5	9	4
8-й	8	2	1	6	7	5	3	4	9
9-й	3	4	1	2	1	1	4	4	3
10-й	8	2	1	9	5	4	7	1	8
11-й	2	3	3	5	9	8	1	1	8
12-й	2	6	3	1	7	8	4	5	9
13-й	4	7	1	7	4	9	3	2	5
14-й	6	4	2	5	8	4	1	7	• 9
15-й	8	7	1	2	6	7	4	5	9
16-й	2	3	3	2	8	9	5	7	6
17-й	6	9	4	4	6	5	2	1	7
18-й	4	4	1	3	8	8	6	7	9
19-й	8	9	2	1	6	7	5	3	4
20-й	6	3	2	3	6	7	1	9	8
Сума рангів	113	80	43	69	131	135	93	96	122
Відхилення від середньої суми	23	-10	-47	-21	41	45	3	6	32
Квадрати відхилень	529	100	2209	441	1681	2025	9	36	102

Значимість обчисленого коефіцієнта конкордації визначимо за критерієм Пірсона, розрахункове значення якого визначається по формулі:

$$\chi^2 = S/[mn(n+1)/12 - 1/(n-1) \sum_{i=1}^n T_i], \quad (2.16)$$

$$\chi^2 = 8055/[20 \cdot 9(9+1)/12 - 1/(9-1) \cdot 14,5 = 54,36$$

Зрівняємо отриманий результат з табличним значенням критерію Пірсона для числа ступенів вільності $f = n - 1$ і рівня значимості 0,01, що становлять 10,090.

Оскільки обчислене значення перевищує табличне, можна вважати коефіцієнт конкордації значимим. Це означає, що погодженість фахівців не є випадковою.

Отримані результати дозволяють побудувати апріорну діаграму рангів (рис. 2.1), на якій по осі абсцис наносяться фактори в порядку убутання їх рангів, а по осі ординат - суми рангів відповідних факторів.

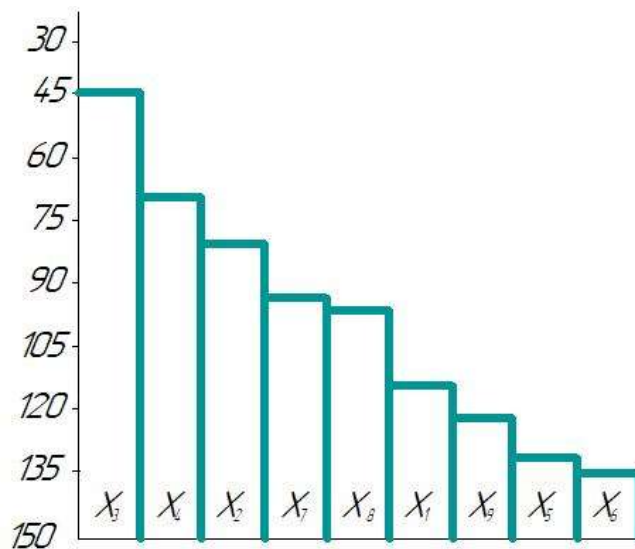


Рисунок 2.1 – Апріорна діаграма рангів

Таким чином, на підставі апріорного аналізу з урахуванням ранжирування факторів фахівцями галузі з подальших досліджень виключаються фактори:

X_1 - октановое число бензину;

X_5 - кут випередження запалювання;

X_6 - відхилення міжелектродного зазору від номінального значення;

X_7 - зольність моторного масла;

Крім того, оскільки практично для кожного автомобільного двигуна інструкцією для експлуатації рекомендуються певні марки ІСЗ, дослідженню в умовах експлуатації не можуть бути піддані фактори:

X_8 - калильне число ІСЗ;

X_9 - наявність виступаючого теплового конуса.

Висновок до розділу

Теоретичні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Для експериментального дослідження надійності елементів СЗ доцільно застосувати план випробувань [NRr].
2. Априорним ранжируванням установлені фактори, що виявляють найбільший вплив на утворення нагару на тепловому конусі ІСЗ:
 - кількість тетраетил свинцю в паливі;
 - коефіцієнт надлишку повітря на характерних режимах експлуатації двигуна;
 - напруження ІСЗ.

Вплив зазначених факторів на утворення нагару на тепловому конусі вимагає експериментального дослідження.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ

3.1 Методика розробки алгоритму діагностування системи запалювання

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.

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

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:

$$P = \exp(-L/T_0), \quad (3.1)$$

де L – наробіток, тис. км; T_0 – нижня довірча границя середнього наробітку до відмови при довірчій імовірності $p^*=0,8$.

$$T_0 = 2t / \chi^2(v; p^*), \quad (3.2)$$

де t – сумарний наробіток виробів, тис.км.; χ^2 – аргумент критерію згоди Пірсона; $v = 2r + 2$; r – число відмов у вибірці; p^* – довірча ймовірність.

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

$$P(H_i) = F(t) \Pi[P(t)], \quad (3.3)$$

де $F(t)$ – імовірність відмови даного елемента; $\Pi[P(t)]$ – добуток імовірностей безвідмовної роботи всіх інших елементів СЗ;

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

$$P(H_i/A) = P(H_i) / P(H_i) \quad (3.4)$$

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

3.2 Приклад розробки алгоритму діагностування системи запалювання автомобіля

За допомогою запропонованої в п. 3.1 методики розробимо алгоритм діагностування СЗ на підставі проведених нами експлуатаційних випробувань надійності СЗ автомобіля ЗАЗ-1103.

Розглянемо наступні найбільш характерні відмови СЗ:

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

Структурна схема моделі надійності СЗ для відмов типу "двигун не пускається" і "раптова зупинка двигуна" представлена на рис. 3.1.

Причини, не пов'язані з відмовами елементів СЗ:

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

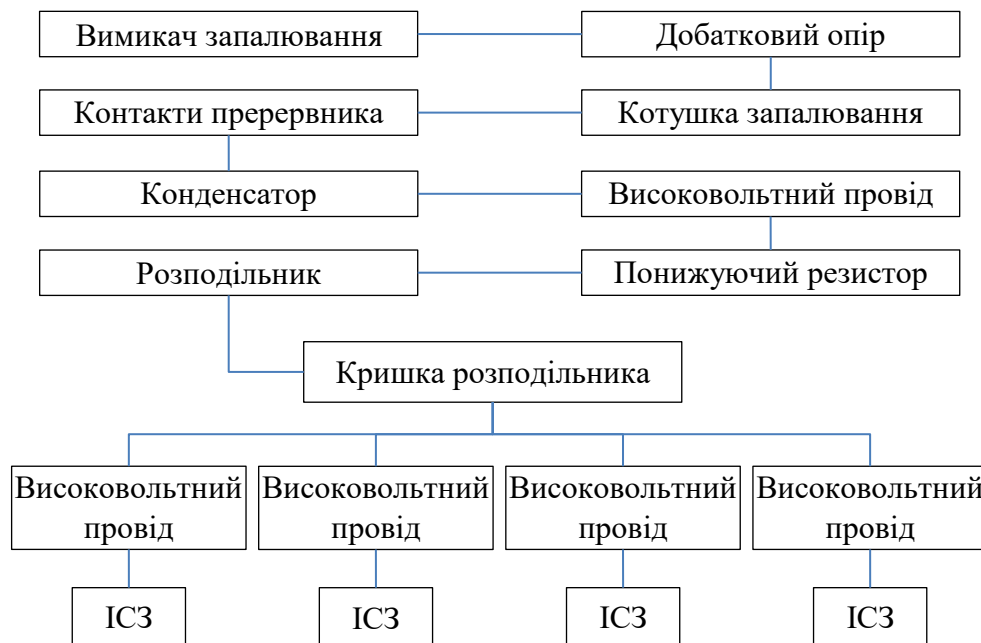


Рисунок 3.1 – Структурна схема моделі надійності СЗ для відмови типу "двигун не пускається" і "раптова зупинка двигуна"

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПРИЧИН ВІДМОВ ТИПУ "ДВИГУН НЕ ПУСКАЄТЬСЯ" АБО "РАПТОВА ЗУПИНКА ДВИГУНА"



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

Причини, не пов'язані з відмовами елементів СЗ:

- неправильно відрегульований карбюратор;
- неправильне користування повітряною заслінкою;
- неправильно встановлені зазори в клапанах;
- порушені фази газорозподілу;
- неправильно встановлений момент запалювання;
- неправильно встановлений зазор у переривнику.

Структурна схема моделі надійності при відмовах такого типу представлена на рис. 3.2.

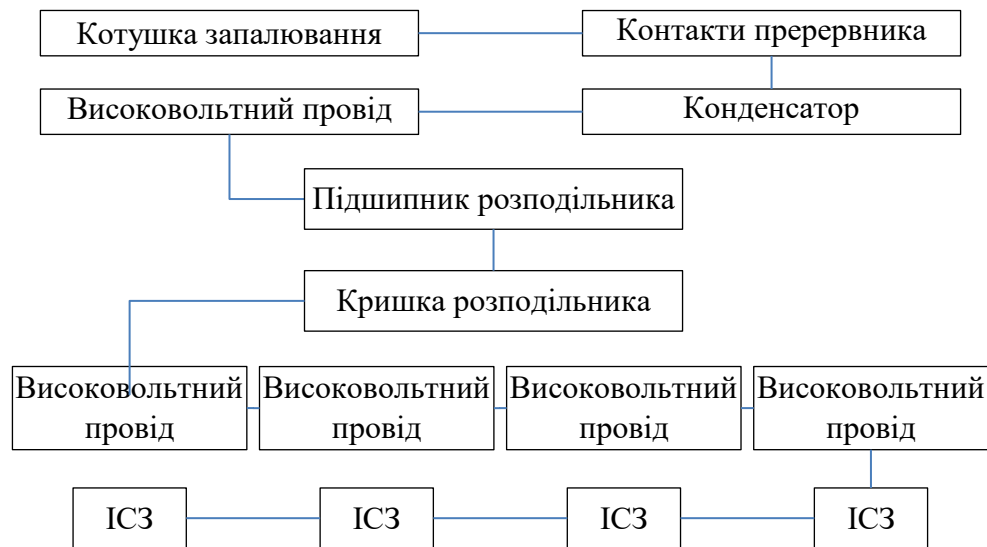


Рисунок 3.2 – Структурна схема моделі надійності СЗ для відмови типу "двигун запускається із труднощами"

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПРИЧИН ВІДМОВИ ТИПУ "ДВИГУН ЗАПУСКАЄТЬСЯ ІЗ ТРУДНОЩАМИ"

3. Збільшення витрати палива, зниження потужності. Причини, не пов'язані з відмовами елементів СЗ:

неправильна установка моменту запалювання;

неправильне регулювання карбюратора;

порушення фаз газорозподілу.

Структурна схема моделі надійності при відмовах такого типу представлена на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Структурна схема моделі надійності СЗ для відмови типу "збільшення витрати палива, зниження потужності"

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПРИЧИН ВІДМОВИ ТИПУ "ЗБІЛЬШЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА, ЗНИЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ"

Коливання двигуна на опорах

0 ... 10 тис. км

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Нагар на тепловому конусі (48,0%). 2. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (42,8%). 3. Пробій високовольтних проводів (8,0%) 4. Пробій кришки розподільника (1,3%) |
|--|

10 ... 30 тис. км

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Відмова ІСЗ (92,2%). 2. Пробій високовольтних проводів (7,2%) 3. Пробій кришки розподільника (0,5%) |
|--|

30 ... 40 тис. км

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Пробій високовольтних проводів (43,7%). 2. Нагар на тепловому конусі (24,4%). 3. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (21,7%). 4. Пробій кришки розподільника (10,2%) |
|---|

40 ... 50 тис. км

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Пробій високовольтних проводів (30,9%). 2. Відмова ІСЗ (61,8%). 3. Пробій кришки розподільника (7,2%) |
|--|

50 ... 60 тис. км

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Відмова ІСЗ (77,0%). 2. Пробій високовольтних проводів (18,5%). 3. Пробій кришки розподільника (4,4%) |
|--|

60 ... 70 тис. км

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Пробій високовольтних проводів (61,5%). 2. Пробій кришки розподільника (14,8%) 3. Нагар на тепловому конусі (12,6%). 4. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (11,2%). |
|---|

70 ... 80 тис. км

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Пробій високовольтних проводів (48,0%). 2. Відмова ІСЗ (40,4%). 3. Пробій кришки розподільника (11,5%) |
|---|

80 ... 90 тис. км

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Відмова ІСЗ (61,0%). 2. Пробій високовольтних проводів (31,3%). 3. Пробій кришки розподільника (7,6%) |
|--|

90 ... 100 тис.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Пробій високовольтних проводів (69,5%). 2. Пробій кришки розподільника (16,8%) 3. Нагар на тепловому конусі (7,2%). 4. Неправильно встановлений зазор ІСЗ (6,4%). |
|---|

100 ... 120 тис.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Пробій високовольтних проводів (49,2%). 2. Відмова ІСЗ (39,0%). 3. Пробій кришки розподільника (11,8%) |
|---|

4. Двигун працює з перебоями.

Причини, не пов'язані з відмовами елементів СЗ:

- перебої в паливоподачі;
- ослаблення кріплення з'єднувальних проводів у СЗ.

Структурна схема надійності СЗ при відмовах такого типу аналогічна наведеної на рис. 3.2.

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПРИЧИН ВІДМОВИ ТИПУ "ДВИГУН ПРАЦЮЄ З ПЕРЕБОЯМИ"

3.3 Методика лабораторних досліджень електричних властивостей нагарів на теплових конусах іскрових свічок запалювання

Основною метою даного дослідження було дослідження залежності електропровідності нагарів на ізоляторах ІСЗ від температури при різних початкових опорах.

У такий спосіб експеримент є двухфакторним і застосування теорії математичного планування багатфакторного експерименту дозволило б 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 мали можливість проводити досліді.

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 нагріванню в електричній печі, куди вставлялася тільки їх вкручена 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. 3.3.

Таблиця 3.3 – 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 (мал.3.10), що працює в парі з мілівольметром 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.

Висновки до розділу

1. Запропонована методика розробки алгоритмів пошуку причин відмов у системі запалювання автомобілів.

2. Розроблені структурні схеми моделей надійності та алгоритми пошуку причин відмов у СЗ автомобіля з урахуванням відомостей про надійність її елементів.

3. Запропонована методика розробки нормативів технічної експлуатації ІСЗ автомобільних двигунів.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати експлуатаційних досліджень

Дослідження надійності елементів систем запалювання (СЗ) легкових автомобілів відчизняного виробництва проводилося за планом [NRr] шляхом опитування водіїв і діагностування автомобілів. 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.

Вибірка формувалася в такий спосіб.

Використовувалися тільки відомості від перших власників автомобілів, що постійно і беззмінно експлуатують автомобіль.

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.

Точність названих наробітків до відмови оцінювалася водіями самостійно, а цензуровані наробітки визначалися за показниками спідометра, якщо він працював безвідмовно до моменту діагностування. Наробітку елементів СЗ, підданих власниками модернізації, не ввійшли у вибірку.

Виміру шунтувальних опорів іскрових свічок запалювання (ІСЗ) проводилися мегаомметром Ф 4102/1 ТУ 25-0413-0071-83. Вимірювальна напруга становила 1000 ± 50 В. Температура ізоляторів ІСЗ становила 343 ± 10 К. Виміри проводилися тільки на ІСЗ нових автомобілів ЗАЗ-1103, якщо вони не замінювалися. У цих же автомобілів проводився вимір токсичності відпрацьованих газів (ВГ) відповідно до вимог. Виміри токсичності ВГ проводилися газоаналізаторами Infracalт виробництва НДР і Yanako (Японія). Обоє газоаналізатори належали ДАІ і вчасно пройшли перевірку. Виміри були проведені на 556 ІСЗ автомобілів ЗАЗ-1103.

Усього дослідженню було піддано 234 автомобіля ЗАЗ-1103 з 1980 по 1992 років випуску, що мали пробіг від 0 до 274 тис.км і 72 автомобіля ВАЗ-2108 (ВАЗ-2109) з 1988 по 1992 років випуску, що мали пробіг від 0 до 130 тис. км. Транзисторні комутатори 36.3734 автомобілів ВАЗ-2108 включалися у вибірку без обліку їх заводу-виготовлювача. До результатів досліджень були приєднані відомості про надійність ІСЗ, опубліковані А. Ф.Михайловим.

На автомобілях ЗАЗ-1103 було зареєстровано 217 відмови різного характеру. Найбільш надійними елементами СЗ виявилися котушка запалювання і конденсатор, імовірність безвідмовної роботи яких на наробітку до 200 тис. км. склала відповідно 0,993 і 0,987. Розподіли відмов інших елементів СЗ добре апроксимуються законом Вейбулла (3.2), параметри яких наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри розподілу Вейбулла

№ з/п	Елемент СЗ	m	L_0
	Вимикач запалювання	0,94	598
1	Контакти переривника	2,09	214
2	Проведення високої напруги	1,70	203
3	Резистор помехоподавительный	0,53	753
4	Бігунок	0,74	666
5	Кришка розподільника	1,86	385
6	Підшипник розподільника	1,46	217
7	ІСЗ (без ТЕС)	2,49	68
8	ІСЗ (з ТЕС)	2,67	51
	Нагар на ІСЗ (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): контакти переривника, проводів високої напруги, кришка розподільника, підшипник розподільника (рис. 4.1, 4.2), ІСЗ при експлуатації як на етильованому, так і на неетильованому бензині (рис. 4.3, 3.4).

Виробу із практично постійною інтенсивністю відмов: вимикач запалювання і відмови ІСЗ від утворення нагару (рис. 4.3, 4.5...4.7).

Виробу зі зменшеною в міру збільшення наробітку інтенсивністю відмов: перешкодоподавляючий резистор і бігунок (рис. 4.8, 4.9).

Остання група становить найбільший інтерес із погляду підвищення надійності СЗ автомобіля ВАЗ-2105.

Слід вважати, що значне число відмов перешкодоподавляючого резистора в початковому періоді експлуатації пояснюється порушеннями технології їх виготовлення. Бігунок 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 нижче 5600 МОм, що представляє по наших розрахунках (п. 2.4.2) критичне значення. Порушення ж вимог стандарту приводить до помітного збільшення нагароутворення.

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.

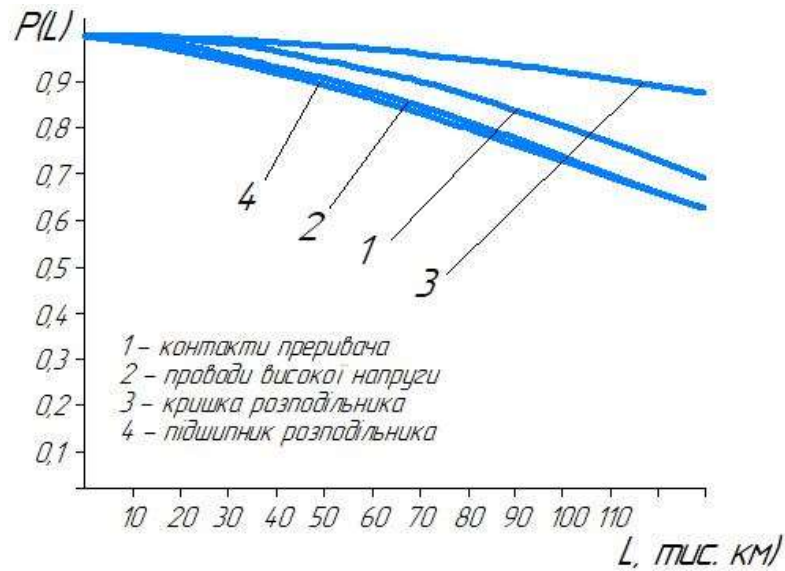


Рисунок 4.1 – Імовірність безвідмовної роботи елементів СЗ

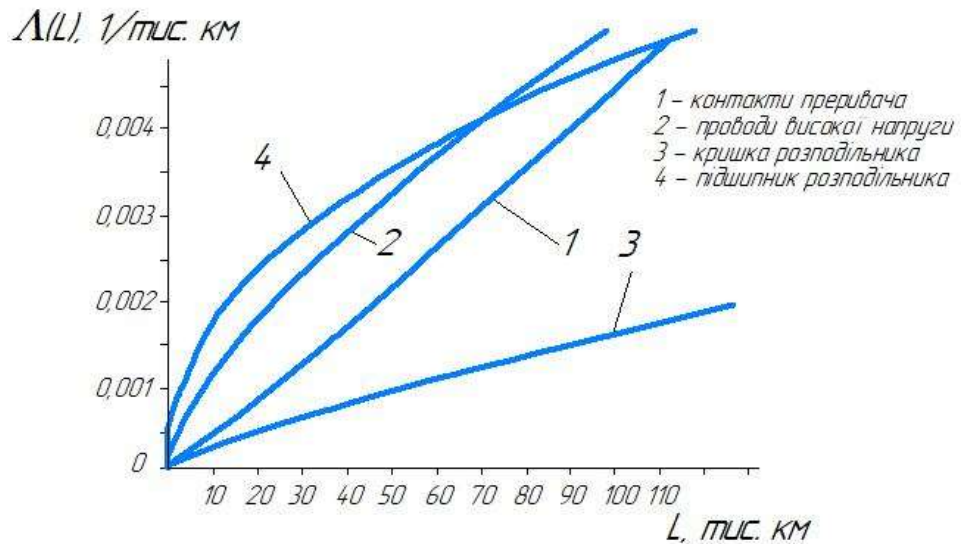


Рисунок 4.2 – Інтенсивність відмов елементів СЗ (ЗАЗ-1103)

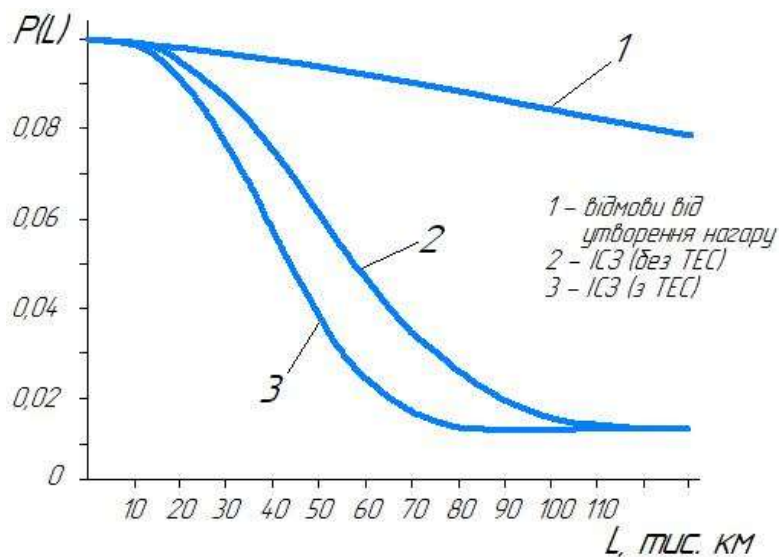


Рисунок 4.3 – Імовірність безвідмовної роботи ІСЗ (ЗАЗ-1103)

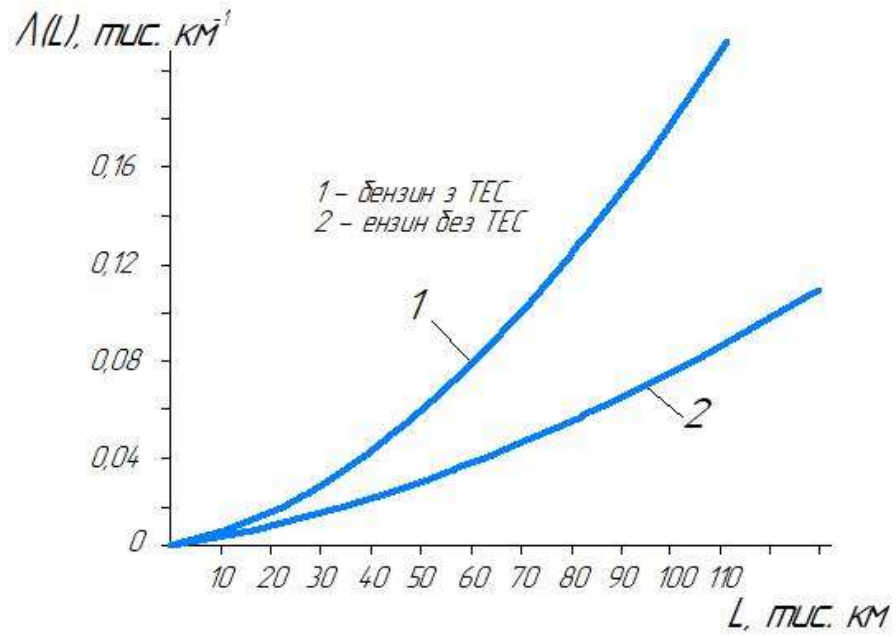


Рисунок 4.4 – Інтенсивність відмов IC3 (ЗА3-1103)

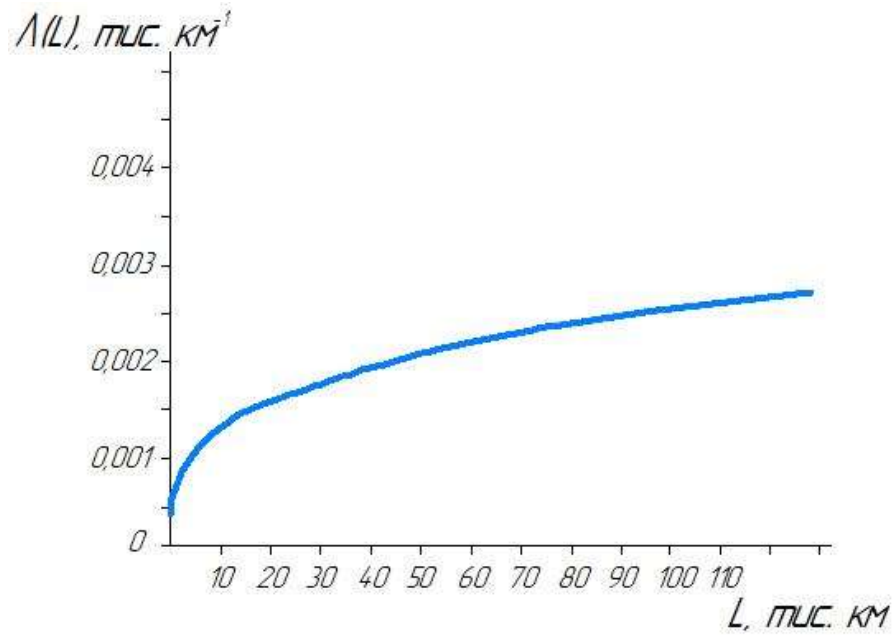


Рисунок 4.5 – Інтенсивність відмов IC3 від утворення нагару (ЗА3-1103)

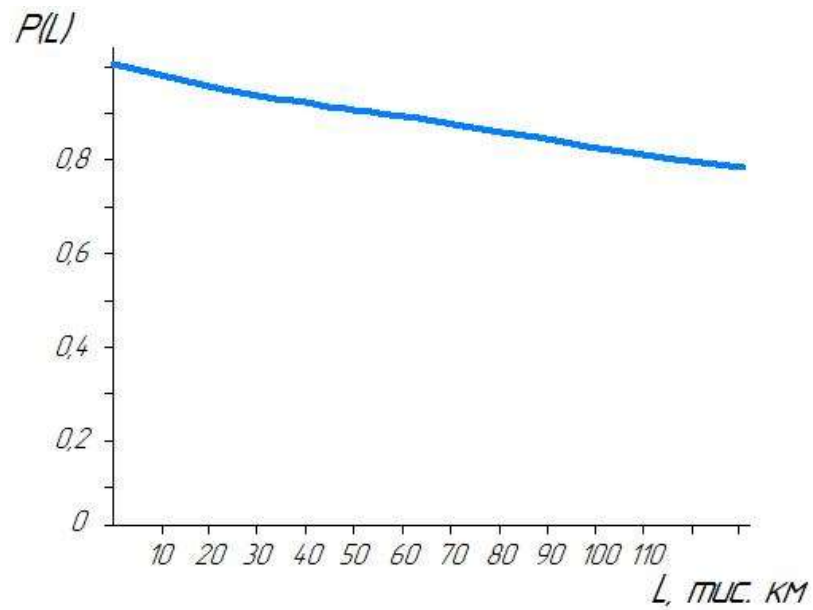


Рисунок 4.6 – Імовірність безвідмовної роботи вимикача запалювання (ЗА3-1103)

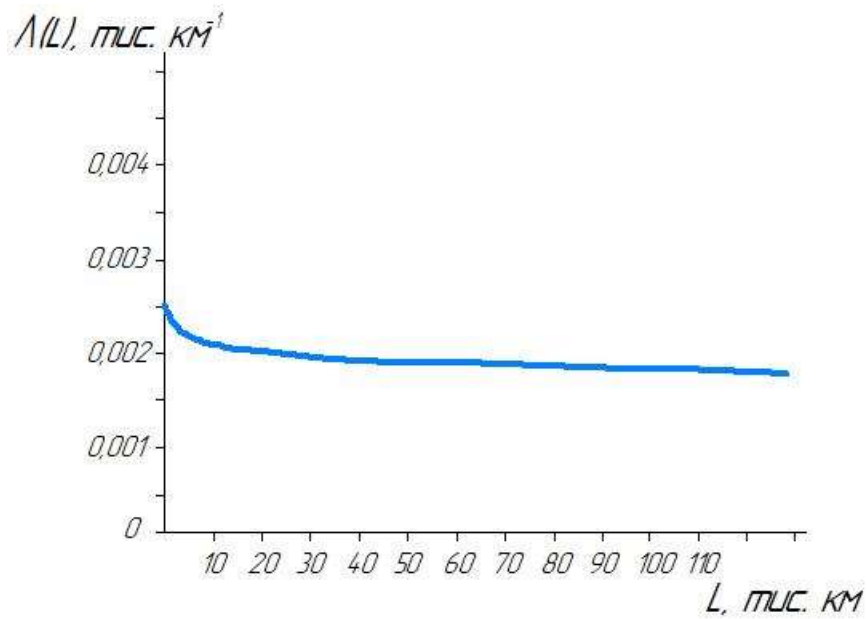


Рисунок 4.7 – Інтенсивність відмов вимикача запалювання (ЗА3-1103)

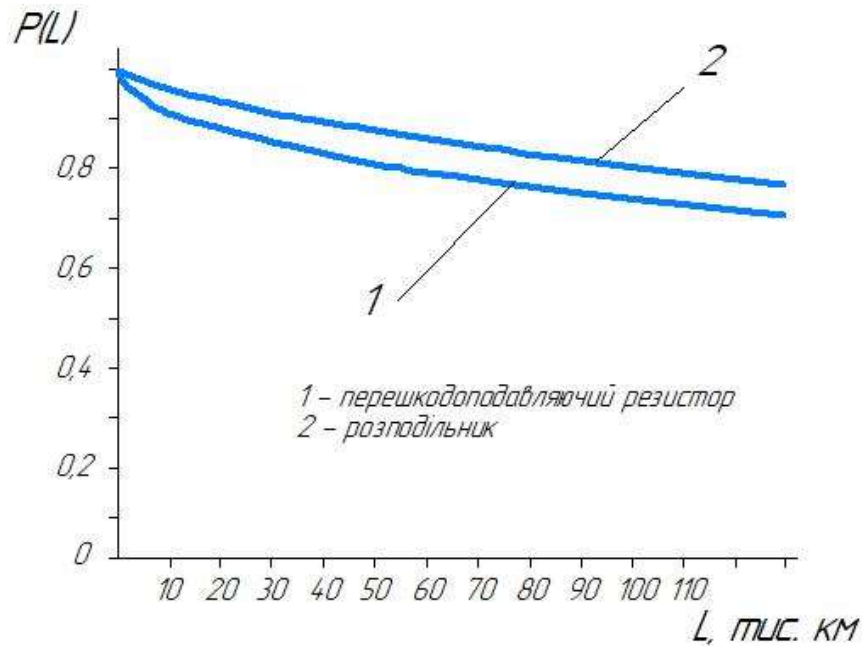


Рисунок 4.8 – Імовірність безвідмовної роботи елементів СЗ (ЗАЗ-1103)

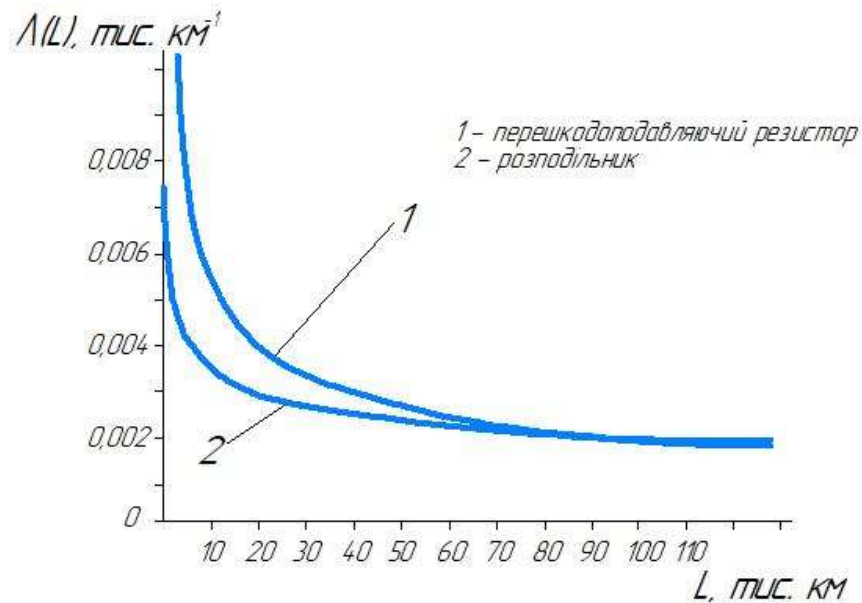


Рисунок 4.9 – Інтенсивність відмов елементів СЗ (ЗАЗ-1103)

Тому при обробці отриманих даних наробітки неправильно відрегульованих двигунів, що працювали на паливі без змісту ТЕС, не враховувалися. Наробітку двигунів, що експлуатувалися на етильованому паливі, повністю ввійшли у вибірку.

У цілому дослідження показали, що надійність ІСЗ при роботі двигуна на паливі зі змістом антидетонаційної присадки знижується.

Середній наробіток двигунів обстежених автомобілів склав від 21,9 до 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.

На автомобілях ВАЗ-2108 було зареєстровано 43 відмови. Недостатній обсяг експерименту не дозволив побудувати законів розподілу наробітків до відмови елементів їх СЗ. Тому для порівняння надійності контактної і мікропроцесорної СЗ скористаємося середнім наробітком до відмови (її нижньою довірчою границею) при довірчій імовірності $p^* = 0,8$ (табл. 4.2).

По датчикові кутового положення на ефекті Холу, підшипнику розподільника і реле включення запалювання ВАЗ-2108 не було зареєстровано жодного відмови. Незважаючи на це надійність мікропроцесорної СЗ у цілому навіть трохи нижче в порівнянні з контактної в першу чергу через надзвичайно низьку безвідмовність комутатора 36.3734, котушки запалювання і високовольтних проводів.

Результати досліджень надійності елементів СЗ деяких інших легкових автомобілів, отримані в ході проведення експерименту.

Таблиця 4.2 – Середні наробітки до відмови елементів СЗ

№ з/п	Елемент СЗ	ЗА3-1103	ВАЗ-2108
1	Вимикач запалювання	358,9	380,6
2	Контакти переривника	423,2	-
3	Проведення високої напруги	331,8	184,8
4	Резистор помехоподавительный	438,8	-
5	Бігунок	667,8	584,8
6	Кришка розподільника	341,4	464,4
7	Підшипник розподільника	389,1	1621,9
8	Котушка запалювання	3576,8	375,6
9	Конденсатор	1960,7	-
10	Комутатор 36.3734	-	87,0
11	Система запалювання (без ІСЗ)	46,4	32,8

4.2 Результати лабораторних досліджень електричних властивостей нагарів на теплових конусах іскрових свічок запалювання

Усього дослідженню було піддано 20 ІСЗ А17ДВ із нагаром, що утворювалися в результаті їх реальної експлуатації на автомобілях ВАЗ різних моделей з різним пробігом з початку експлуатації, що працювали на неетилованому бензині.

Вихідний опір їх нагару при температурах 293 К (після прожарювання) становив від 0,1 до 40000 Мом. Розподіл числа ІСЗ по діапазонах вихідних значень опору презентовано в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вихідні опори досліджуваних ІСЗ

Діапазон опорів, 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 нагару зменшується при нагріванні за експонентним законом в інтервалі температур 473...903 К. 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. 4.11).

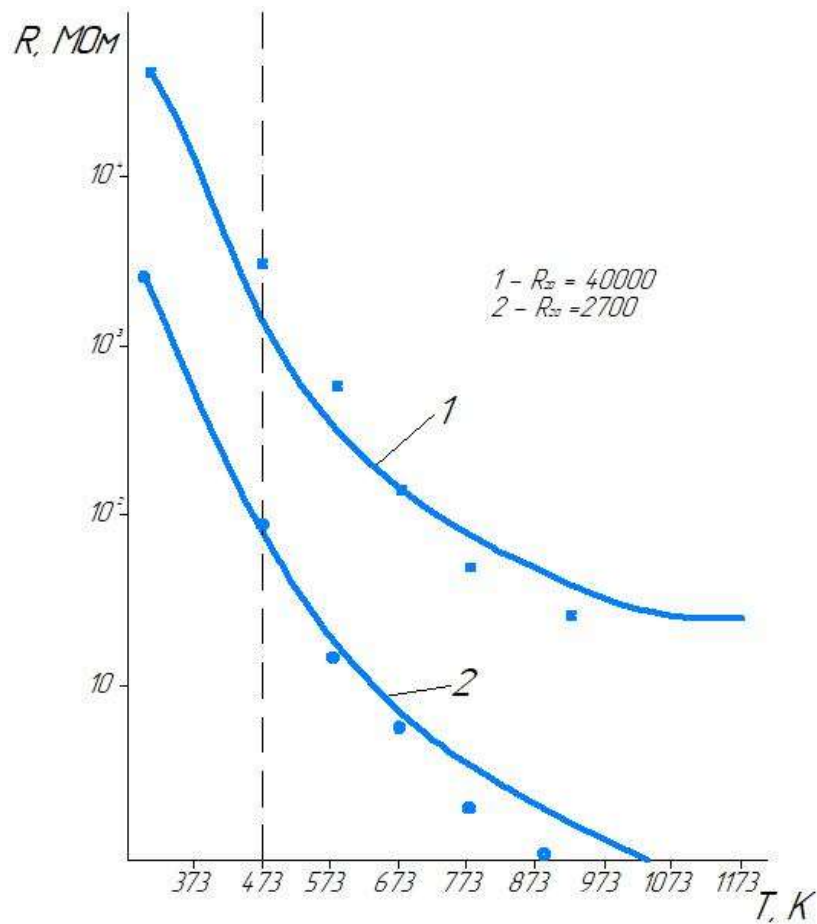


Рисунок 4.10 – Залежність опору нагару від температури теплового конуса ІСЗ

Середнє значення енергії активації нагару за результатами ксперимента 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.

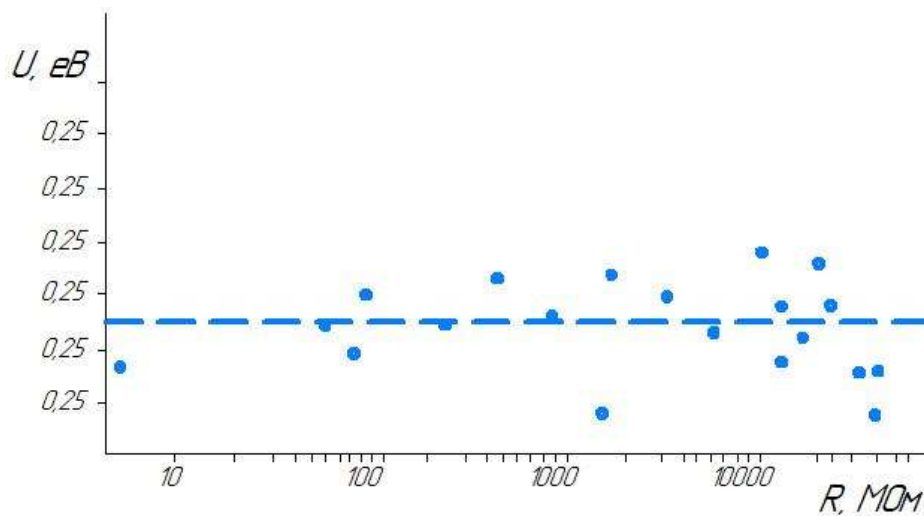


Рисунок 4.11 – Експериментальні значення енергії активації

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

$$R = R_0 \exp[4109,2 (T_1 - T_2)/(T_1 T_2)] \quad (4.1)$$

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

Тоді можна записати (4.1) у вигляді:

$$R_T = (R_0/34,813) \exp[4109,2 (473 - T)/(473 \cdot T)], \quad (4.2)$$

де R_T – опір при температурі T , Мом; R_0 – вихідний опір, ММ; T – робоча температура теплового конуса ІСЗ, К.

Висновки за розділом

Дослідженнями встановлено:

1. При температурах, що перевищують 473 К, спостерігається зменшення опору нагару від автомобільних бензинів за експонентним законом.
2. Експериментально визначено значення енергії активації нагару від автомобільних бензинів.
3. Опір нагарів, які можуть реально мати місце в експлуатації автомобілів, не виявляють впливу на показники двигуна, оснащеного мікропроцесорною СЗ.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Екологічні показники роботи двигунів внутрішнього згорання

Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) є одним з найпоширеніших джерел забруднення навколишнього середовища, повітряного басейну. На долю ДВЗ припадає приблизно 80 % від загальних шкідливих викидів різними джерелами. Забруднене повітря шкідливо впливає на навколишнє середовище. Потрапляючи через органи дихання в організм людини або тварини, вони сприяють різним захворюванням [].

Один з ефективних шляхів вирішення цієї проблеми – це створення системи стандартів, обмежуючих токсичність двигунів внутрішнього згорання. Встановленні обмеження і методи визначення вмісту шкідливих заходів постійно змінюються з метою вдосконалення методів досліджень, поновлення нових (більш жорстких) обмежуючих норм на викиди свинцю та чадного газу, незгорілих вуглеводнів, оксидів азоту.

Проблема зниження токсичності відпрацьованих газів двигунів є дуже складною. Причини, що обумовлюють цю складність, полягають в специфіці умов виникнення токсичних речовин і в закономірностях їх виникнення. Це відноситься насамперед, до незгорілих вуглеводнів, оксидів вуглецю (СО) і оксидів азоту (N_{ox}), та викидів сажі (димності ВГ)

На початковому етапі з метою зниження токсичності відпрацьованих газів, розглядалися заходи по регулюванню систем живлення, підвищення точності виготовлення деталей двигуна і систем, що впливають на викиди токсичних речовин. Ці методи, як правило, не погіршуючи динамічних якостей приводять до зменшення паливної економічності.

Введення більш жорстких норм, які обмежують викиди окису вуглецю, вуглеводнів та окису азоту потребує вдосконалення існуючих і створення нових систем, що зменшують токсичність відпрацьованих газів. Так були створенні прилади автономної системи холостого ходу, відключення подачі палива в примусовому холостому ході, регулятор розрідження, більш досконалі

системи холостого ходи, відключення подачі палива на примусовому холостому ході, регулятор розрідження, більш досконалі системи нейтралізації відпрацьованих газів, системи вловлювання паливних випаровувань і часткової рециркуляції відпрацьованих газів. Велика увага приділяється вдосконаленню сумішоутворення і робочого процесу двигунів [].

5.2. Структурно-функціональний аналіз процесу випробування двигунів й розроблення моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій

Кожний небезпечний виробничий фактор незалежно від його виду, рівня, та інших властивостей має певну зону своєї дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко фіксовані значення, то її можна вважати постійною.

Постійні зони існують або виникають у ланцюгових, пасових та шестеренних передачах, у пресах, пневматичних та гідравлічних молотах, верстаках, під машинами та платформами, піднятими за допомогою гідравлічної чи іншої підйомної системи. Так на обкатувально-випробувальній дільниці має місце постійна небезпечна зона.

Небезпечною дією працівника дільниці може бути необережне поводження його з підйомно-транспортним обладнанням, недотримання нормативних вимог охорони праці, недотримання правил технологічного процесу, порушення регламентованого режиму роботи обладнання, норм експлуатації споруд і т.д. Таким чином, внаслідок небезпечних дій працівник проникає в небезпечну зону, в якій потрапляє в небезпечні обставини.

Небезпечні умови можуть визначатися недоліками конструкцій машин, технологічного обладнання і процесів, недостатньою надійністю виробничого обладнання, низьким рівнем організації виробництва, тобто відсутність необхідного контролю, низький професійний рівень працівників, підготовка їх з охорони праці [].

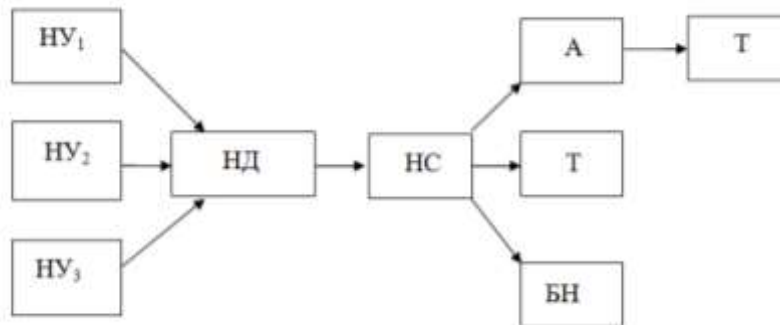
Небезпечною ситуацією, яка виникає при збіганні умов і обставин, у якій потрапляє працюючий після допущених небезпечних дій, може бути аварія (вихід з ладу, пошкодження машини, агрегату) або катастрофа (несподіване лихо, подія, що спричиняє тяжкі наслідки, руйнування). Внаслідок ава-

рії технічної системи працівник може отримати травми.

Таблиця 5.1 – Формування та виникнення аварійних ситуацій, що виникають під час випробування двигунів

Вид техно-логічної операції	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобіганню аварійним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Випробування двигунів	Технічна несправність обладнання НУ ₁ . Погане заземлення стендів НУ ₂ . Неуважність працівника НУ ₃ .	Недотримання вимог техніки безпеки та технології процесу НД.	Створення аварійно-небезпечної ситуації АНС.	Аварія, травма, наслідок без аварії і травми.	Перед початком роботи перевірити технічний стан обладнання, заземлення. Проводити підготовку працівників з охорони праці.

Модель процесу:



5.3 Правила техніки безпеки під час обкатування та випробування двигунів

Особи, що працюють на обкатувально-випробувальній станції, повинні знати і дотримуватися правил техніки безпеки при експлуатації електрогальм, гідравлічних та інших стендів для випробування двигунів, а також різних вантажопідйомних механізмів і допоміжного устаткування.

До роботи на стенді допускають осіб, що пройшли інструктаж з техніки безпеки і знаючих правила експлуатації стенда.

Стенд обладнають загороджувальним кожухом, що закриває механізм приводу ротора електродвигуна з колінчатим валом двигуна. Забороняється

робота на стенді з відкритим загороджувальним кожухом. Також не можна включати стенд при знятому кожусі реостата. Для виконання робіт з ремонту чи монтажу вузлів електроустаткування стенда необхідно виключати рубильник. При роботі двигуна на стендах СТЭУ-55 і КИ-2118А не можна надавати ротору електродвигуна частоту обертання, що перевищує 3000 об/хв. Коли частота обертання ротора електродвигуна стенда більша граничної частоти обертання, може відбутися аварія [29, 30, 38].

Забороняється гальмування двигуна, що обкатується при навантаженнях вище граничних. Не рекомендується зупиняти електродвигун стенда безпосереднім вимиканням його з мережі, коли двигун працює під навантаженням. Спочатку варто понизити до мінімальних оберти колінчатого вала двигуна, вивести електроди реостата з розчину електроліту, а потім виключити електродвигун [].

Запускати двигун на стенді необхідно при частоті обертання колінчатого вала не вище 700 об/хв. Після пуску двигуна, якщо передбачається його робота без навантаження, виводять електроди реостата з розчину електроліту вручну. При наявності електричного приводу з автоматичним пристроєм, виключають електродвигун натисканням кнопки на пульті керування. Не допускається різка зміна частоти обертання колінчатого вала двигуна при його роботі на стенді під навантаженням. При зупинці необхідно плавно знижувати частоту обертання колінчатого вала.

Необхідно періодично доливати воду в реостат, щоб її рівень був не нижче 160 мм від верхньої кромки бака. При доливанні води в реостат стенд повинен бути відключений від мережі. По закінченні зміни виключають рубильник стенда і перекривають кран підведення палива. Не допускається підтікання палива й оливи (при централізованій системі змащення) через трубопроводи і місця їхніх з'єднань [].

Перед встановленням двигуна на стенд необхідно переконатися в справності вантажопідйомного механізму (тельфера, блоку, талі, крана-балки), що повинен бути забезпеченим надійним пристосуванням (тросом, підвісним

захватом), що забезпечує повну безпеку робіт при підйомі двигуна. На вантажопідйомному механізмі обов'язково повинна бути зазначена його вантажопідйомність, яку не можна перевищувати. Забороняється піднімати двигун, якщо маса його перевищує вантажопідйомність підйомного механізму. Категорично забороняється повертати кран-балку руками з піднятим двигуном. Для повороту крана-балки необхідно користуватися металевим гаком чи додатково підвішеним канатом [1].

Піднімати і транспортувати підвішений двигун треба обережно. Не можна ставати під піднятий двигун і допускати під вантаж сторонніх осіб. Забороняється залишати кран під навантаженням. Піднятий двигун повинен рухатися попереду робітника. Не можна різко піднімати двигун і розгойдувати його.

Для автоматичного регулювання температурного режиму роботи двигуна застосовують радіоізотопний терморегулятор РТ-2. У приладі РТ-2 використане радіоактивне джерело типу БІС-3, активність якого 0,05 мКюри. Потужність дози сумарного бета-гамма-випромінювання на поверхні приладу РТ-2 не перевищує норм, установлених «Санітарними правилами роботи з радіоактивними речовинами і джерелами іонізуючих випромінювань для контрольно-вимірювальних приладів», у яких використовуються закриті джерела випромінювання. Зокрема, потужність дози випромінювання на поверхні корпусу вимірювально-регулюючого приладу не більш 10 м/год, на відстані в 1 м (у будь-якому напрямку від корпусу вимірювально-регулюючого приладу) не більш 0,3 мр/год. Радіоактивне забруднення на поверхні корпусу вимірювально-регулюючого приладу відсутнє цілком. Тому при монтажі й експлуатації радіоізотопного терморегулятора РТ-2 необхідно дотримуватися наступних заходів радіаційної безпеки [1]:

- обережно поводитись з вимірювально-регулюючим приладом і виключити можливість руйнування чи часткової поломки корпусу;

- не розкривати і не ремонтувати вимірювально-регулюючий прилад поза приміщеннями, що мають спеціальне захисне устаткування для роботи з закритими джерелами бета-випромінювання;

- не допускати до експлуатації приладу персонал, що не має спеціальної підготовки і допуску до роботи з радіоактивними речовинами.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Нормативи технічної експлуатації іскрових свічок запалювання

Проведені дослідження дозволили запропонувати інженерну методику для розрахунків нормативів технічної експлуатації ІСЗ. Вихідними даними для розрахунків є:

1. Вартість ІСЗ (за одну шт.) S_c , грн.;
2. Вартість палива (за один л.) St , грн.;
3. Закон розподілу наробітків до відмови;
4. Експлуатаційна витрата палива Rt , л/100 км.;
5. Вартість технічного впливу (заміни, регулювання або діагностування) Stb , грн.;
6. Число циліндрів двигуна z ;
7. Збільшення витрати палива, викликане відмовою ІСЗ, St , %. По даним літературних джерел для чотирициліндрового двигуна при відмові однієї ІСЗ $St' = 30..44$ %; при відмові двох ІСЗ $St'' = 112$ %. Для шестициліндрового двигуна $St' = 15..25$ %; $St'' = 40..60$ %. Для восьмициліндрового двигуна $St' = 15..23$ %; $St'' = 30..40$ %.

Імовірність відмови однієї ІСЗ багатociліндрового двигуна можна виразити формулою:

$$F_1 = \frac{z!}{(z-1)!} \cdot F \cdot P, \quad (6.1)$$

де z – число циліндрів двигуна; F – середня ймовірність відмови ІСЗ при даному наробітку; P – середня ймовірність безвідмовної роботи. $P = 1 - F$.

У такий же спосіб можна визначити ймовірність відмови двох ІСЗ:

$$F_2 = \frac{z!}{(z-2)!2!} \cdot F \cdot P \quad (6.2)$$

Нехтуючи незначними ймовірностями відмови трьох і більш ІСЗ, одержимо:

$$F_1 + F_2 + P = 1 \quad (6.3)$$

Тоді середній збиток від збільшення витрати палива виразиться формулою:

$$S_1 = (S_{\pi}'F_1 + S_{\pi}''F_2) \cdot 10 \cdot R_{\pi} \cdot S_{\pi} \quad (6.4)$$

Від періодичних технічних впливів вартість експлуатації збільшується:

$$S_2 = z S_{\text{ТВ}}/L, \quad (6.5)$$

де $S_{\text{ТВ}}$ – вартість технічного впливу (заміни, регулювання або діагностування ІСЗ), грн.; L – періодичність технічного впливу, тис.км.

Цільова функція експлуатації виразиться наступним вираженням:

$$S_{\text{ц}} = S_1 + S_2 \quad (6.6)$$

Визначивши періодичність технічних впливів, при якій цільова функція має мінімум, слід включити дану операцію в найближче планове ТО.

За допомогою цієї методики проведемо розрахунки оптимальної періодичності заміни ІСЗ автомобіля ВАЗ, для чого задамося діючими в цей час цінами на ІСЗ А17ДВ - 2 \$ за 1 шт. і на бензин А-95 - 0,15...0,2 \$ за 1 л.

Експлуатаційна витрата палива автомобіля ВАЗ становить 9,5 л/100 км, а ймовірність відмови ІСЗ для цього автомобіля виражається законом Вейбулла з параметрами $m=2,49$; $L_0=68$.

Розбиваючи наробіток L до проведення технічного впливу на 100 інтервалів, одержимо на них значення ймовірностей відмови. Середнє арифметичне із цих значень можна прийняти за середню ймовірність відмови при даній періодичності L .

Зневажаючи вартістю робіт по заміні ІСЗ, одержимо, що цільова функція має мінімум при періодичності заміни ІСЗ в 15...17 тис. км (рис. 6.1).

Найближче планове ТО по талону номер 3 проводиться через 19500...20000 км. Таку періодичність і слід уважати оптимальною.

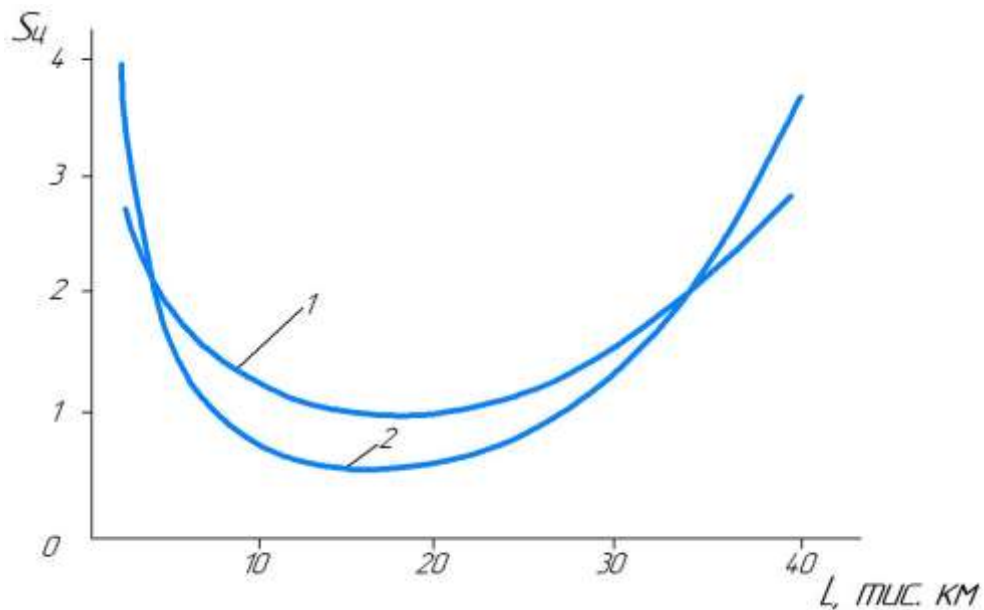


Рисунок 5.1 – Цільові функції експлуатації: 1 – автомобіля ЗАЗ-1103; 2 – автомобіля ЗАЗ-110240

Для розрахунків оптимальної періодичності заміни ІСЗ автомобіля ЗИЛ-130 скористаємося варіаційним рядом. Його обробка дає наступні параметри розподілу Вейбулла: $m=4,03$; $L_0=62$ тис. км.

Число циліндрів $z=8$; експлуатаційна витрата палива при середньому завантаженні становить 37,5 л/100 км. Цільова функція, побудована аналогічно попередній, має мінімум при періодичності заміни ІСЗ, рівної 16 тис. км (мал. 4.4).

Періодичність ТО-2 при 1-й категорії експлуатації становить 12 тис. км. Таким чином, проведення робіт з їхньої заміни може проводитися через 12 або 24 тис. км. Однак більш ефективною є їхня заміна при проведенні ТО-1 з періодичністю 15 тис. км.

6.2 Оцінка техніко-економічної ефективності запропонованої системи технічної експлуатації

Для визначення техніко-економічної ефективності пропонуваної системи технічної експлуатації автомобіля ЗАЗ-1103 скористаємося виразом (6.1) і обчислимо економію палива, яку в середньому забезпечить періодичність заміни ІСЗ через 20 тис. км замість рекомендованої раніше періодичності, що становила 30 тис. км.

При будь-якому даному наробітку ІСЗ L витрата палива в середньому збільшується на величину:

$$R_t = [F'(L) S'_t + F''(L) S''_t] R_t, \quad (5.7)$$

де $F'(L)$ і $F''(L)$ – середні ймовірності відмови відповідно однієї й двох ІСЗ на проміжку $(0;L)$;

$$S'_t=0,37;$$

$$S''_t=1,12;$$

$$R_t=9,5 \text{ л/100 км.}$$

Підставляючи в (4.9) чисельні значення, отримаємо: $R_t(20)=0,191$ л/100 км; $R_t(30)=0,527$ л/100 км.

Економія палива складе в середньому:

$$R=R_t(30) - R_t(20)$$

$$R=0,527-0,191=0,336 \text{ л/100км}$$

або 3,5 % від експлуатаційної витрати палива.

У такий спосіб на кожний автомобіль ЗАЗ-1103 при середньому пробігу 15 тис. км у рік буде отримана економія палива 50,4 л/рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розроблені структурні схеми моделей надійності та алгоритми пошуку причин характерних відмов у системі запалювання автомобіля ЗАЗ-1103.

Розроблені нормативи технічної експлуатації іскрових свічок запалювання.

Розроблений ефективний спосіб діагностування іскрових свічок запалювання в холодному стані без їхнього демонтажу із двигуна.

Подана уточнена математична модель батарейної системи запалювання, що враховує наявність іскрового проміжку розподільника.

Досліджені експлуатаційні випробування елементів системи запалювання автомобіля ЗАЗ-1103.

Визначений екстремальний режим роботи іскрових свічок запалювання при наявності нагару на тепловому конусі.

Установлено, що нагари на тепловому конусі іскрових свічок запалювання, які можуть реально мати місце в експлуатації двигуна з мікропроцесорною системою запалювання не чинять впливу на протікання робочого процесу двигуна.

Експлуатаційні дослідження показали, що використання етилированного бензину знижують ресурс іскрових свіч запалювання на 25 %.

Визначено, що застосування пропонованої системи технічної експлуатації дозволить знизити експлуатаційну витрату палива автомобіля ЗАЗ-1103 на 3,5 %.

Дослідженнями встановлено, що: при температурах, що перевищують 473 К, спостерігається зменшення опору нагару від автомобільних бензинів за експонентним законом.

Експериментально визначено значення енергію активації нагару від автомобільних бензинів.

Опір нагарів, які можуть реально мати місце в експлуатації автомобілів, не виявляють впливу на показники двигуна, оснащеного мікропроцесорною СЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Максимов В.Г. Загальні принципи діагностування електронних систем автомобіля / В.Г. Максимов. Одеса: Наука і техніка, 2012. 392 с.
2. Діагностування електронних систем автомобіля (базовий прилад - тестер KTS 570) : метод. посіб. / Г.О. Оборський, В.Г. Максимов, О.Д. Ніцевич [та ін.]; за ред. О.Ф. Дашенко. Одеса: Наука і техніка, 2012. 186 с.
3. Засоби та методи діагностування систем автомобіля в умовах станції технічного обслуговування (базовий прилад - комплекс FSA-740) : метод. посіб. / Г.О. Оборський, В.Г. Максимов, О.Д. Ніцевич [та ін.]; за ред. М.Б. Копитчука. Одеса: Наука і техніка, 2012. 188 с.
4. Максимов В.Г. Основи методів діагностування електронних систем керування автомобілем. / В.Г. Максимов, О.Д. Ніцевич, І.А. Дрома / Праці Одеського політехнічного університету, 2013. Вип. 3(42). С. 60-65.
5. Діагностика і технологія ремонту автомобілів : підруч. / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
6. Барановський В.М. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві / В.М. Барановський, А.В. Спирін, Ю.А. Полевода, І.В. Твердохліб // Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця : ВНАУ, 2018. Випуск 1 (100). С. 24-28.
7. Анісімов В.Ф. Випробування автотракторних дизельних двигунів внутрішнього згорання / В.Ф. Анісімов, А.А. П'ясецький. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. 41 с.
8. Канарчук В.Є., Дудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. - К.: Вища шк., 1994. - (у 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. 342 с; Кн. 2: Організація, планування і управління. 383 с; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. 599 с.
9. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: підруч. /Лудченко О.А. К.: Знання, 2007. 527 с.

10. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Київ: Мінтранс України, 1998. 16 с.
11. Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Оліскевич. Львів: Афіша, 2004. 492 с.
12. Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / Укладачі: Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.М. Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. 188 с.
13. Експериментальні дослідження двигуна з системою нейтралізації відпрацьованих газів при живленні різними видами палив / А.В. Гунько, О.О. Алтухов, В.В. Мержиєвська [та ін.] // Вісник Національного транспортного університету. Київ: НТУ, 2007. № 14. С. 132–137.
14. Манько І.В. Вплив виду палива на експлуатаційні властивості автомобіля. / Іван Володимирович Манько // Вісник НТУ. Київ: НТУ 2013. Вип. 27.
15. Цюман М.П. Поліпшення паливної економічності бензинового двигуна з системою нейтралізації відпрацьованих газів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Цюман Микола Павлович. Київ: 2010. 266 с.
16. Цюман М.П. Дослідження паливної економічності та екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням під час використання спиртовмісного палива / М.П. Цюман, І.О. Шевчук, Р.В. Артеменко, С.Г. Бориско // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Київ: НТУ, 2017. Вип. 1 (37).
17. Гутаревич Ю.Ф. и др. Екологія та автомобільний транспорт. Київ: Арістей, 2006. 292 с.
18. Автомобільні двигуни / Ю.Ф.Гутаревич, К.Є. Долганов, Ф.І.Абрамчук. Київ: Арістей, 2004. 476 с.