

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **«Підвищення пускових характеристик бензинового
двигуна шляхом модернізації свічок запалювання»**

Виконав: студент IV курсу групи Ат-22СП
Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва)

Юрій Строцький

(ім'я та прізвище)

Керівник: Мирон Магац

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2023

УДК 629.114.3

Строцький Ю.М. Підвищення пускових характеристик бензинового двигуна шляхом модернізації свічок запалювання: кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023. 55 с.

Табл. 2; рис. 25; бібліогр. джерел 23.

Модернізовано різьбове з'єднання свічок запалювання із головкою циліндрів.

Розраховано динамічну характеристику двигуна із іскровим запалюванням.

Проведено техніко-економічне обґрунтування систем запалювання сучасних бензинових двигунів.

Розроблено технологічно-операційну карту на встановлення захисної вставки (для свічок запалювання).

Встановлено граничну силу струму (близько 8 А), під час розмикання первинного кола котушки запалювання за різних швидкісних режимів двигуна.

Описано заходи з охорони праці та змодельовано небезпечні події, що можуть призвести до небезпечних обставин.

Розраховано економічний ефект, за використання захисних вставок на свічки запалювання, що становить близько 5175,00 грн./рік.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	8
1.1 Аналіз джерел енергії для автомобільної техніки.....	8
1.2 Аналіз, призначення, класифікація, принципіві схеми, сучасних систем запалювання бензинових двигунів	10
1.2.1 Безконтактні системи запалювання.....	12
1.2.2 Системи запалювання зі статичним розподілом енергії.....	13
1.2.3 Системи з одноіскровими котушками запалювання.....	14
1.2.4 Система СОР.....	15
1.3 Висновки.....	18
2.РОЗДІЛ. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Тепловий баланс двигуна з коректною і некоректною роботою свічок запалювання	19
2.2 Шляхи забезпечення ефективної роботи свічок запалювання з захисними втулками (напряга короткого замикання, зміна вторинної напруги).....	21
2.3 Висновки	23
3. РОЗДІЛ. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	24
3.1 Обґрунтування пробивної напруги на свічці запалювання.....	24
3.1.1 Режим підвищеного навантаження бензинового двигуна.....	27
3.1.2 Режим підвищеного навантаження, пробій ізоляції	28
3.1.3 Занижена компресія та зменшений свічковий зазор.....	29
3.1.4 Вплив забруднення ізолятора свічки запалювання зі сторони камери згоряння.....	30
3.1.5 Забруднення свічкових електродів (холодний пуск без вставок).....	33

3.2	Технологія модернізації свічки запалювання	34
3.2.1	Обґрунтування принципової схеми захисної вставки.....	37
3.3	Обґрунтування максимального струму під час розмикання первинного кола.....	39
3.3.1	Розрахунок величини струму розриву I_p у первинному електричному колі котушки запалювання.....	39
3.4	Висновки.....	41
4.	РОЗДІЛ. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	42
4.1	Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій .	42
4.2	Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці..	44
4.3	Пожежна безпека.....	46
4.4	Висновки.....	48
5.	РОЗДІЛ. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	49
5.1	Розрахунок експлуатаційних витрат	49
5.2	Висновки	51
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	52
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	54

ВСТУП

Двигунобудівна промисловість нашої держави на даний період часу, переживає чергову технологічну затримку, що пов'язано з активними бойовими діями та необхідністю переходу на новий технічний рівень, що задовольняє різко зростаючим вимогам економії палива, екології, безпеки і комфорту та загалом підвищення конкурентоспроможності продукції.

Система запуску двигунів внутрішнього згорання, є одна із головних на сучасних транспортних засобах. Затруднений запуск двигуна в умовах низьких температур, створює не просто незручність, а й обумовлює підвищений знос ДВЗ, зниження експлуатаційних можливостей транспортного засобу, а іноді безпосередньо пов'язаний із проблемою забезпечення безпеки.

Для створення нових високоефективних систем пуску ДВЗ і пошуку прихованих резервів, необхідні перспективні вироби, що забезпечують необхідний технічний рівень.

Зарубіжні аналоги дозволяють намітити деякі орієнтири не подальшого розвитку вітчизняних ефективних систем пуску ДВЗ та електроприводу.

Сучасні вимоги, щодо швидкого запуску ДВЗ в умовах понижених температур, викликають необхідність використання потужних систем електрозапуску, споживання електричної енергії, що збільшується додатково встановленим на транспортному засобі обладнанням: апаратурою для контролю клімату в салоні, телеапаратурою; кермовим керуванням з електроприводом, електроприводом клапанів, електричною підвіскою і т.д. піддає існуючі 12-тивольтові системи сучасних автомобілів надмірному навантаженню.

Тож одним із завдань сучасного автомобілебудування, є перехід на більш високу напругу, щоб забезпечити покращення експлуатаційних, у тому числі і пускових якостей транспортного засобу.

Бортова електрична система сучасного автомобіля (12.14 В) розрахована на навантаження порядку 1 кВт (при силі струмі 71 А). Для

прикладу: при тій же силі струму (71 А) навантаженню 2 кВт - відповідає оптимальна напруга бортової мережі 24... 28 В, 3 кВт – 36...42 В.

У даний час, виробниками автомобілів прийнято стратегічне рішення щодо підвищення рівня напруги в бортовій мережі до 42 В.

У зв'язку з цим перспективною, є концепція застосування комплексних систем зі стартером - генераторним пристроєм та мікропроцесорним керуванням, що є ключовим елементом для підвищення ефективності експлуатаційних показників сучасного автомобіля.

Для часткового покращення пускових характеристик бензинового двигуна в умовах низьких температур, нами прийнято рішення модернізувати корпусні елементи свічок запалювання, шляхом встановлення на різьбове з'єднання спеціальних втулок.

Метою кваліфікаційної роботи, є модернізація корпусних елементів свічок запалювання.

Для вирішення поставленої мети, необхідно вирішити наступні **задачі:**

1. Провести аналіз літературних джерел, стосовно підвищення пускових характеристик бензинових двигунів в умовах понижених температур.
2. Розрахувати енергетичні параметри системи запалювання з модернізованими виконавчими елементами.
3. Описати конструктивні особливості та подати технологічно операційну карту на встановлення захисної вставки на свічку запалювання і монтаж її у головку блоку циліндрів.
4. Провести розрахунок граничного струму, під час розмикання первинного кола котушки запалювання транзистором.
5. Описати техніку безпеки, під час проведення модернізованих робіт системи.
6. Розрахувати економічний ефект від застосування спеціальних вставок на свічках запалювання.

1. РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1 Аналіз джерел енергії для автомобільної техніки

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

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

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

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

У всьому світі, аграрне виробництво є найбільшою життєзабезпечуючою галуззю народногосподарського комплексу. Провідні країни початку 2000-х рр., без попереднього наукового опрацювання аграрних перетворень, що зводилися в основному до нерегульованої лібералізації ринку, спричинили за собою розвал матеріально-технічної бази АПК та системних технологій ведення виробництва. У сільському господарстві, відбулося скорочення виробничо-технічного потенціалу.

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

Раціональним вирішенням проблеми для сільського господарства є не кардинальна заміна старої техніки на нову, а переобладнання наявної, тобто встановлення газового обладнання та використання зрідженого нафтового газу як моторне паливо.

Недоліком застосування газомоторного палива, є затруднений запуск двигуна за понижених температур. Запуск двигуна на західних теренах України можливий, без застосування додаткових засобів теплової підготовки лише за температури навколишнього середовища не нижче за мінус 10 °С.

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

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

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

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

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

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

До систем запалення ставляться наступні вимоги:

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

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

Пробивна напруга, це - напруга у вторинному колі, в момент утворення іскри, яка є максимальною напругою у вторинному колі. Системи запалювання розраховуються з урахуванням коефіцієнта запасу по вторинній напрузі. Це означає, що напруга, що максимально накопичується котушкою, завжди перевищує пробивну напругу в найгірших умовах роботи двигуна (може досягати 20 кВ і більше).

Напруга горіння – напруга горіння електричної дуги, що встановилася у вторинному колі, після пробою електродного зазору. Ця величина значно менша за напругу пробою, і становить близько 1 кВ.

Час горіння – тривалість горіння електричної дуги. Підпал паливної суміші відбувається при горінні дуги, тому визначення її характеристик дає дуже важливу інформацію щодо оцінки справності системи.

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

Будь-яка система запалення, ділиться на дві частини:

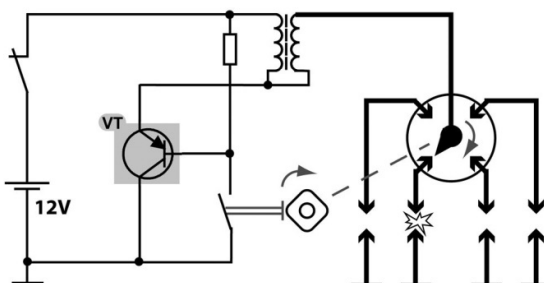
- низьковольтне (первинне) коло – включає первинну обмотку котушки запалення та безпосередньо пов'язані з ним електричні кола переривника, комутатора та інших компонентів, залежно від пристрою конкретної системи.

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

Комутатор – це транзисторний ключ, який залежно від сигналу, що управляє, вмикає або відмикає живлення первинної обмотки котушки запалювання. Залежно від пристрою конкретної системи запалення,

комутатор може бути як один, так їх може бути кілька (якщо в системі запалення використовується кілька котушок).

У цьому випадку механічний переривник керує лише транзисторним комутатором, який, у свою чергу, керує котушкою. Така конструкція має істотну перевагу перед переривником без транзисторного комутатора. Відмінність полягає у тому, що контактний переривник комутує значно менший струм. Отже, практично виключається пригоряння контактів переривника під час розмикання, відсутня потреба у конденсаторі. В іншому, система повністю аналогічна класичній системі. Обидві описані системи запалення з механічним переривником мають загальну назву – контактні системи запалювання, рис.1.1 [14].



VT – силовий транзистор.

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

1.2.1 Безконтактні системи запалювання

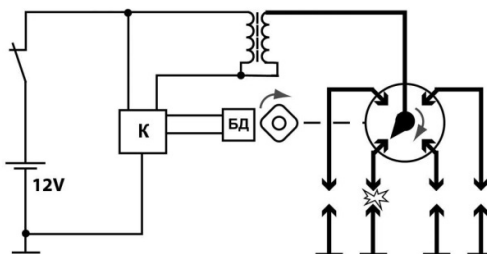
У разі безконтактної системи запалювання (БСЗ), замість механічного переривника застосовують датчик – генератор імпульсів із перетворювачем сигналів, який керує лише транзисторним комутатором, що у свою чергу, керує котушкою запалювання.

У системах запалення з транзисторним комутатором застосовують датчики трьох типів:

- датчик Холла;
- індуктивний датчик;
- оптичний.

З розвитком електроніки, коло завдань безконтактних переривників розширилося. Транзисторний переривник стали називати комутатором чи модулем запалювання (МОЗ). Його завданням стала зарядка котушки необхідною енергією, тобто до моменту запалення, комутатор повинен передбачити необхідність розпочати зарядку котушки, щоб отримати максимальну енергію іскри та уникнути перегріву котушки. Причому, його робота повинна заключатися у тому, щоб час заряду котушки був приблизно постійним.

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



К – комутатор; БД – безконтактний датчик.

Рисунок 1.2 - Загальна схема безконтактної системи запалювання [14].

1.2.2 Системи запалювання зі статичним розподілом енергії

Системи запалення зі статичним розподілом енергії мають суттєву відмінність від вище описаних систем. У системах запалення зі статичним розподілом енергії DLI (Distributor Less Ignition) відсутній механічний

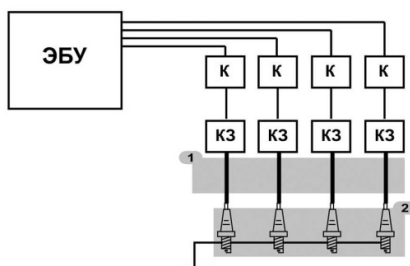
розподільник. Котушки запалення безпосередньо з'єднані зі свічками запалювання, і розподіл напруги здійснюється на первинній стороні котушок запалювання. Виключається і застосування елементів, які зазнають втрат енергії та зносу. Такий спосіб розподілу напруги застосовується у двох варіантах: з одно- і двохіскровими котушками запалювання.

1.2.3 Системи з одноіскровими котушками запалювання

В одноіскровій системі, кожна свічка має свою індивідуальну котушку запалювання. Блок управління двигуном включає роботу котушки запалення відповідно до встановленого порядку роботи циліндрів. Так, як, відсутні втрати енергії в розподільнику, ці котушки запалювання можуть бути дуже компактних розмірів. В основному вони розташовуються безпосередньо над свічками запалювання.

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

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



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

Рисунок 1.3 - Загальна схема систем незалежного запалювання

1.2.4 Система COP

Однією з найбільш популярних різновидів таких систем є COP система (Coil on Plug - "котушка на свічці"), у якій котушка запалювання встановлюється безпосередньо на свічку. Таким чином, стало можливим незастосування високовольтних провідів, рис.1.4 [14].

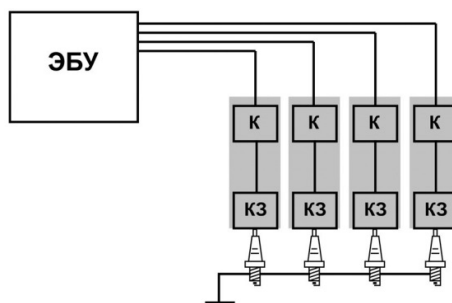
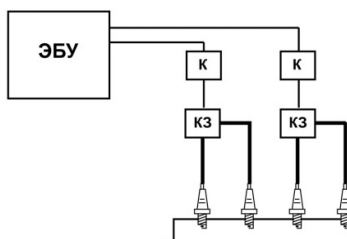


Рисунок 1.4 – Загальна схема системи COP

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

утворюється іскра на першому - котушка дає «робочу іскру», а інша – «холосту». Наприклад: у класичному 4-х циліндровому двигуні в циліндрах 1 і 4, поршні займають те саме положення (обидва знаходяться у верхній або нижній мертвих точках одночасно) і рухаються синхронно, але знаходяться на різних тактах. Коли циліндр 1 знаходиться на компресійному ході, циліндр 4 - на такті випуску і навпаки, рис. 1.5 [1],[14].



1.5 – Загальна схема системи запалювання DIS.

Котушки запалення в системі DIS можуть встановлюватися, як окремо від свічок і з'єднуватися з ними високовольтними проводами, так і прямо на свічках (як у системі COP, але в цьому випадку високовольтні провідники використовуються для передачі розряду на свічки суміжних циліндрів), рис.1.6

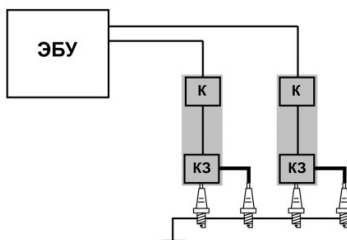


Рисунок 1.6 - Загальна схема системи «DIS-COP» [15].

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

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

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

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



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

Рисунок 1.7 - Стан свічок запалення після 1000 км пробігу [16]

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

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

1.3 Висновки

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

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

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

Тому наші подальші дії спрямовані на модернізацію свічок запалювання, для підвищення їхнього експлуатаційного ресурсу.

2. РОЗДІЛ. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Тепловий баланс двигуна з коректною і некоректною роботою свічок запалювання

За методикою розрахунку теплового балансу двигуна внутрішнього згоряння [13], проведено порівняльне дослідження з використанням двох систем запалювання, з базовою і системою з модернізованими свічками запалювання.

Отримані значення параметрів теплового балансу, слугуватимуть для подальшого визначення техніко-економічних показників автомобіля, укомплектованого бензиновим двигуном.

Теплота Q , після згоряння робочої суміші, буде мати вигляд

$$Q = Q_n \cdot G_n, \text{ кДж/год} \quad (2.1)$$

де Q_n - нижня питома теплота згоряння палива, кДж/кг;

G_n - годинна витрата палива, кг/год.

Годинна витрата палива визначиться:

$$G_n = N_e \cdot g. \quad (2.2)$$

Теплота Q_e , що еквівалентна ефективній роботі двигуна

$$Q_e = 3600 N_e, \quad (2.3)$$

а теплота g_e для визначення корисної роботи

$$g_e = \frac{Q_e}{Q} \cdot 100 \% \quad (2.4)$$

Втрати теплоти Q_v у зовнішнє середовище

$$Q_v = C \cdot i \cdot D^{23} \cdot n^{0,65} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot 3,6, \text{ кДж/год} \quad (2.5)$$

де C – коефіцієнт витрат ($C = 0,43 \dots 0,55$) [10];

i – кількість циліндрів;

D – діаметр циліндра, мм;

n – к-сть обертів колінчастого валу, об/хв;

α – коефіцієнт надлишку повітря.

Теплота g_B , що витрачена системою охолодження

$$g_B = \frac{Q_B}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

Втрати теплоти Q_r , (з випускними газами)

$$Q_r = C_p \cdot (T_r - T_{o.c.}) \cdot (G_{пов.} - G_{п}), \text{кДж/год} \quad (2.7)$$

де C_p – середня теплоємність відпрацьованих газів, $C_p = 1.44$ кДж/кг град;

T_r і $T_{o.c.}$ – температура газу і охолоджуючого середовища, К;

$G_{пов.}$ і $G_{п}$ – кількість робочої суміші у камері згоряння, кг/год.

Кількість повітря $G_{пов.}$, отримаємо

$$G_{пов.} = 14,5 \alpha \cdot G_{п}, \text{кг/год} \quad (2.8)$$

приймаємо $G_{п} = 6,7$ кг/год.

Втрати частки теплоти q_r , з випускними газами

$$q_r = \frac{Q_r}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.9)$$

Інші витрати $Q_{ін.в.}$:

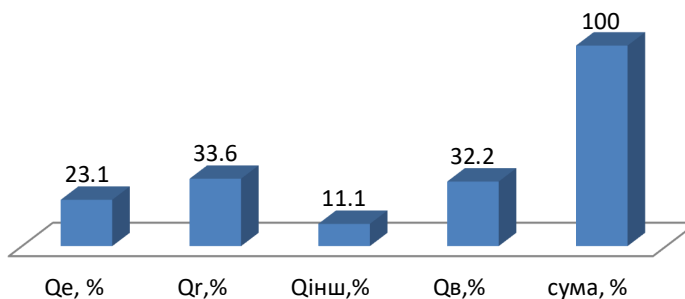
$$Q_{ін.в.} = Q - (Q_e + Q_r + Q_B) \quad (2.10)$$

Частка $q_{ін.в.}$, визначиться:

$$q_{ін.в.} = \frac{Q_{ін.в.}}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.11)$$

За дослідженими значеннями, отримали наступні порівняльні діаграми, рис.2.1.

Із робочими свічками запалювання



За неякісно робочою свічкою запалювання

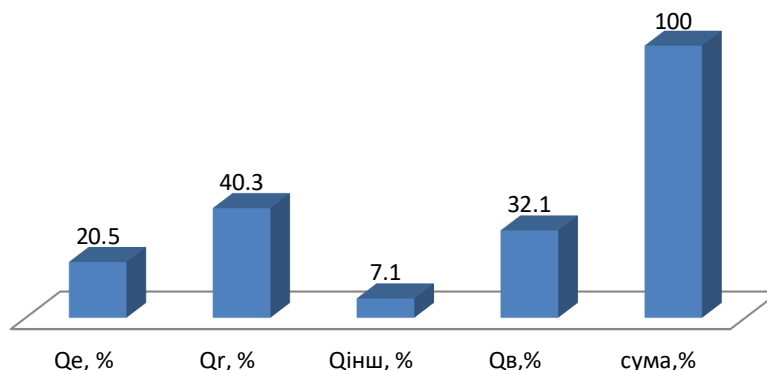


Рисунок 2.1 – Діаграми теплового балансу двигуна з ЕБУ.

Провівши аналіз діаграм, можна цілком зтверджувати, що робота двигуна з ЕБК, який працює із давачем з частково ушкодженим електропровідником, ефективна теплота Q_e зменшується до 23,2 % відносно 24,9 % (пропаяного), у якому опір провідності зменшується.

2.2 Шляхи забезпечення ефективної роботи свічок запалювання з захисними втулками (напряга короткого замикання, зміна вторинної напруги)

Номінальні лінійні струми первинної $I_{1\text{ЛН}}$ та вторинної $I_{2\text{ЛН}}$ обмоток котушки незалежно від їх схем з'єднань визначаються через номінальну потужність

$$I_{1\text{ЛН}} = \frac{S_{\text{Н}}}{\sqrt{3}U_{1\text{ЛН}}}; \quad (2.12)$$

$$I_{2\text{ЛН}} = \frac{S_{\text{Н}}}{\sqrt{3}U_{2\text{ЛН}}}. \quad (2.13)$$

$$I_{\text{фН}} = \frac{I_{\text{ЛН}}}{\sqrt{3}}. \quad (2.14)$$

Визначаються номінальні фазні струми первинної $I_{1\text{фн}}$ та вторинної $I_{2\text{фн}}$ обмоток залежно від їх схем з'єднання.

Потужність короткого замикання (capacity of short circuit) на одну фазу трифазного трансформатора визначається через втрати короткого замикання

$$P_{\text{кф}} = \frac{P_{\text{к}}}{3}. \quad (2.15)$$

Фазну напругу короткого замикання отримаємо через напругу короткого замикання

$$U_{1\text{кф}} = \frac{U_{\text{к}\%}}{100} U_{1\text{фн}}. \quad (2.16)$$

Коефіцієнт потужності визначиться

$$\cos \varphi_{\text{к}} = \frac{R_{\text{к}}}{Z_{\text{к}}}. \quad (2.17)$$

Аргумент коефіцієнта потужності за короткого замикання

$$\varphi_{\text{к}} = \arccos \cos \varphi_{\text{к}}. \quad (2.18)$$

Фазний струм отримаємо через струм неробочого ходу у відсотках від номінального струму

$$I_{0\text{ф}} = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot I_{1\text{фн}}. \quad (2.19)$$

Кут магнітних втрат

$$\alpha = \arctg \left(\frac{R_{\text{м}}}{Z_{\text{м}}} \right). \quad (2.20)$$

Коефіцієнт трансформації визначиться

$$k = \frac{U_{1\text{фн}}}{U_{2\text{фн}}}. \quad (2.21)$$

2.2.2 Розрахунок напруги короткого замикання та зміни вторинної напруги.

Складові напруг короткого замикання:

$$U_{\text{ка}\%} = R_{\text{к}} \cdot I_{1\text{фн}} \cdot \frac{100}{U_{1\text{фн}}}; \quad (2.22)$$

Відсоткова зміна вторинної напруги за номінального навантаження

$$\Delta U_{\%} = U_{\text{ка}\%} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\text{кр}\%} \cdot \sin \varphi_2, \quad (2.23)$$

де $\cos \varphi_2$ – коефіцієнт потужності, для якого аргумент φ_2 визначається як

$$\varphi_2 = \arccos \cos \varphi_2. \quad (2.24)$$

За активно-індуктивного чи індуктивного характеру навантаження потрібно прийняти кут φ_2 додатним, а за активно-ємнісного чи ємнісного – від'ємним.

Приведені значення вторинного струму та напруги за номінального навантаження

$$I'_{2\text{фн}} = \frac{I_{2\text{фн}}}{k}; \quad (2.25)$$

$$U'_{2\text{н}} = U_{1\text{фн}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right). \quad (2.26)$$

Відповідно до методики вище проведеного розрахунку, отримали вихідну пробивну напругу та силу струму на електродах свічок запалювання (з вставками): $I_2 = 2,9$ А та $U = 18,9$ кВ.

2.3 Висновки

Проведено порівняльний розрахунок теплового балансу бензинового двигуна з об'ємом циліндрів $V = 1,6$ л.

Доведено, що ефективна теплота Q_e (за справних свічок запалювання) становила – 23,1%, а за неякісної роботи однієї свічки запалювання склала – 20,5%, що на 2,6 % збільшились втрати ефективної теплоти (за неповного згоряння робочої суміші у циліндрі).

Розраховано пробивну напругу на свічках запалювання (під час запуску холодного двигуна), що склала – 18,9 кВ.

3. РОЗДІЛ. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування пробивної напруги на свічці запалювання

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

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

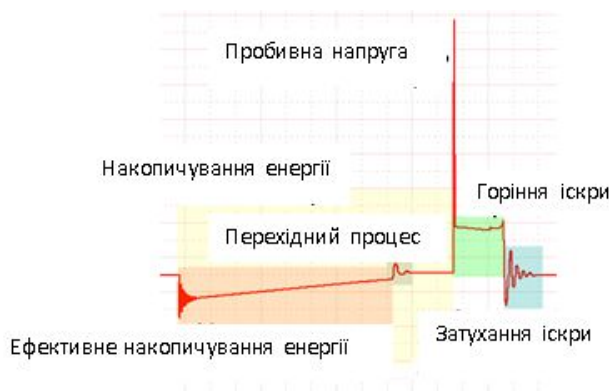


Рисунок 3.1 - Осцилограма пробивного розряду напруги вторинного кола на свічці запалювання.

На осцилограмі є чотири основні фази: накопичення енергії, момент

пробою, горіння іскри, згасаючі коливання.

Час накопичення енергії (заряду котушки) – інтервал часу від замикання котушки на масу і початку протікання неї струму до іскрового розряду обумовленого ЕРС самоіндукції котушки після розриву первинного кола. Перехідний процес свідчить про закінчення ефективного заряду котушки (момент насичення, обмеження струму заряду), після якого відбувається некорисне нагрівання котушки струмом заряду – відбувається процес збільшеного накопичення енергії.

У деяких випадках, момент пробою наступає трохи раніше за перехідний процес (це не вважається несправністю), рис.3.2.

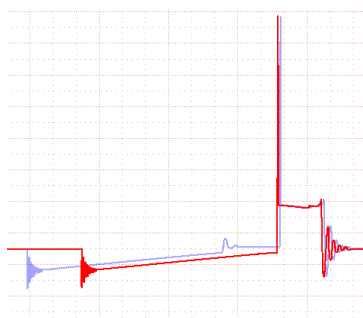


Рисунок 3.2 –Незначний недозаряд котушки запалювання

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

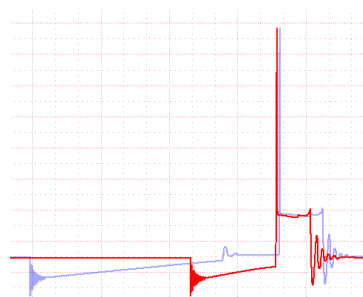


Рисунок 3.3 - Значний недозаряд котушки запалювання.

Пробій виникає при розмиканні первинного кола котушки запалювання. При цьому, в ній виникає напруга самоіндукції, що призводить до швидкого зростання напруги у вторинній обмотці. Напруга збільшується доти, доки не перевищить напругу пробою на свічці запалювання. Тривалість пробою становить близько 10-20 мкс. Пробивна напруга залежить від проміжку між електродами свічки та від діелектричних властивостей середовища. За атмосферного тиску, сухе повітря пробивається при напрузі близько 30 кВ/см. При підвищенні тиску та зменшенні вмісту палива у суміші напруга пробою зростає.

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

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



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

На холостому ході, дана осцилограма засвідчує про збільшений зазор

на свічці. Необхідна напруга пробою збільшується. Більшість енергії витрачається на генерацію підвищеної пробивної напруги. Це призводить до значного зменшення тривалості горіння іскрового розряду, зменшення надійності займання паливо повітряної суміші.

3.1.1 Режим підвищеного навантаження бензинового двигуна

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

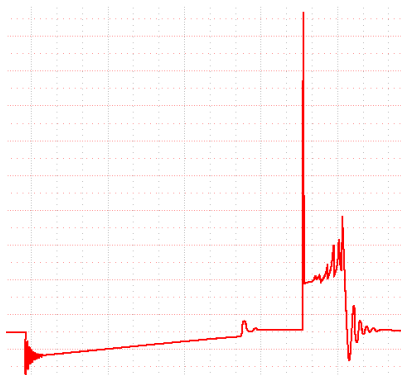


Рисунок 3.5 - Режим підвищеного навантаження

Дана записана осцилограма (за підвищених навантажень двигуна) свідчить про нормальну роботу системи запалювання. На ділянці горіння іскри можна спостерігати множинні "зриви" напруги горіння іскри у вигляді "пили", що виникають внаслідок "здування" іскри вихровими та турбулентними потоками газів усередині камери згоряння. Пояснюється це тим, що при відкритті дросельної заслінки в циліндр надходить більше повітря, а через збільшення швидкості поршня і тиску в результаті процесу горіння, необхідна все більша напруга для підтримки протікання струму.

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

3.1.2 Режим підвищеного навантаження, пробій ізоляції

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

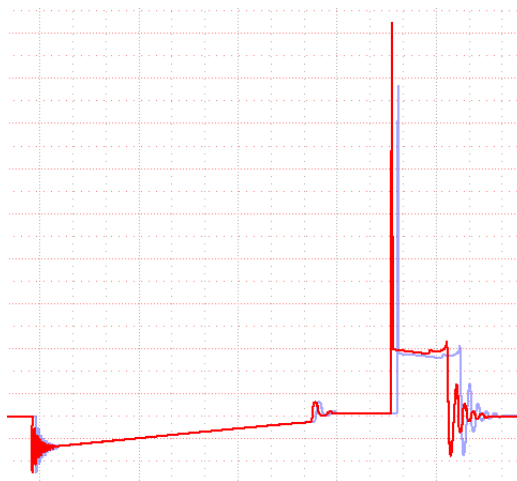


Рисунок 3.6 - Режим підвищеного навантаження (Несправність).

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

- між високовольтним виводами котушки запалення та одним із виводів первинної обмотки котушки або "масою";
- між високовольтним проводом та корпусом двигуна;
- між кришкою розподільника запалювання та корпусом розподільника;
- між "бігунком" розподільника запалення та валом розподільника

запалення;

- свічкового ковпачка, між наконечником високовольтного провідника та корпусом двигуна;
- поверхневий пробій керамічного ізолятора свічки запалювання внаслідок відкладення на ізоляторі струмопровідних забруднень;
- поверхневий пробій внутрішньої поверхні свічкового ковпачка (стікання заряду внутрішньої поверхні ізолятора), внаслідок відкладення на ковпачку струмопровідних забруднень;
- всередині керамічного ізолятора свічки запалювання між центральним провідником та її корпусом (утворення в ізоляторі тріщини).

3.1.3 Знижена компресія та зменшений свічковий зазор

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

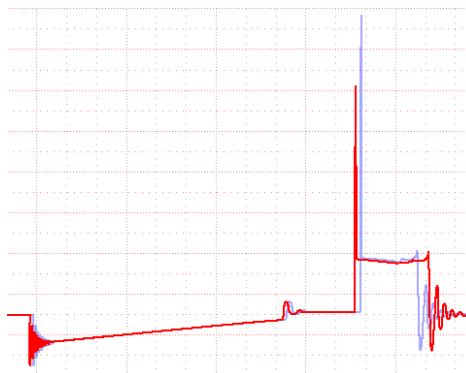


Рисунок 3.7 – Осцилограма за зниженої компресії.

Різниця між пробивною напругою, що підводиться до справних свічок запалювання і до свічки зі зменшеним іскровим проміжком стає більш істотною при роботі двигуна під високим навантаженням. При такій

несправності при переході з режиму холостого ходу на режим підвищеної потужності збільшення напруги пробою не спостерігається або спостерігається незначно, рис. 3.8.

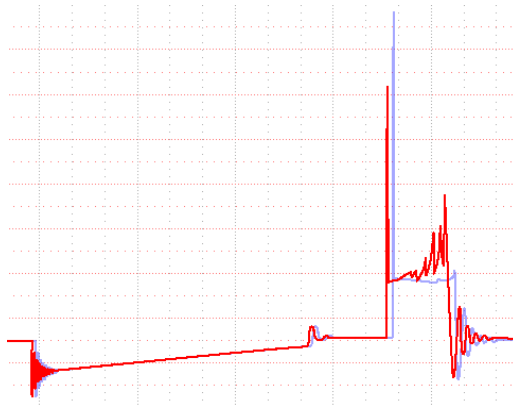


Рисунок 3.8 – Осцилограма за зменшеного зазору і навантаження на двигун (Несправність).

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

3.1.4 Вплив забруднення ізолятора свічки запалювання зі сторони камери згоряння

За відсутності різкого падіння напруги в кінці горіння, свідчить про забруднення ізолятора свічки (покрився шаром провідника, що призводить до витоку струму та втрати енергії горіння іскри). Напруга пробою при цьому дещо знижується. Значення напруги горіння іскри у початковий момент, практично досягає значення напруги пробою, а до кінця горіння, може знизитися до дуже малого значення, рис. 3.9.

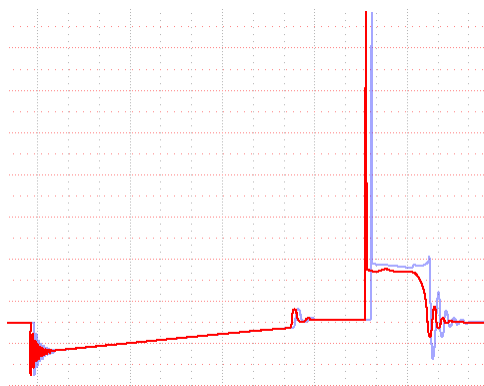


Рисунок 3.9 – Вигляд осцилограми за забрудненого ізолятора свічки.

Кількість загасаючих коливань може помітно зменшитися, або загасаючі коливання можуть бути відсутніми. Найчастіше несправність проявляється не постійно, тобто поверхневі струми можуть чергуватись з нормальним іскроутворенням між електродами свічки запалювання.

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

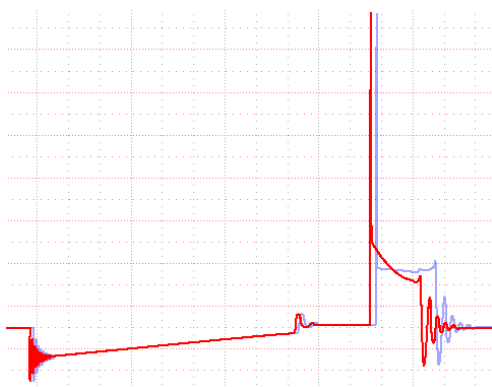


Рисунок 3.10 – Форма осцилограми, за збільшеного опору високовольтного провідника.

Опір високовольтного провідника, може бути збільшеним внаслідок

окислення його контактів, старіння або вигорання провідного шару високовольтного елемента або внаслідок використання надмірної довжини високовольтного провідника.

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

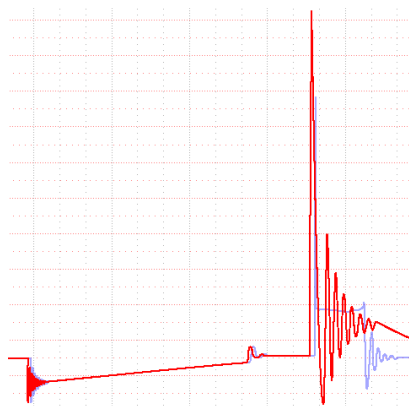


Рисунок 3.11 – Форма електричного розряду, за обриву високовольтного провідника

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

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

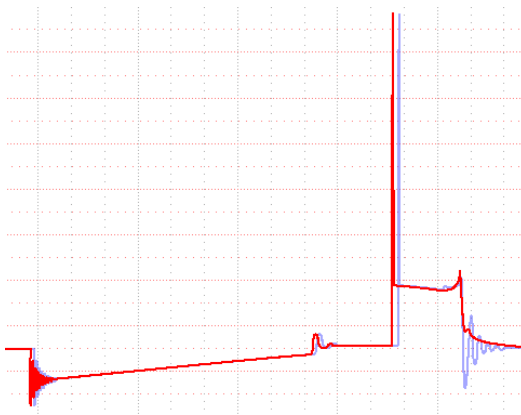


Рисунок 3.12 - Несправність котушки запалювання (відсутній згасаючий електричний імпульс).

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

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

3.1.5 Забруднення свічкових електродів (холодний пуск без вставок)

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

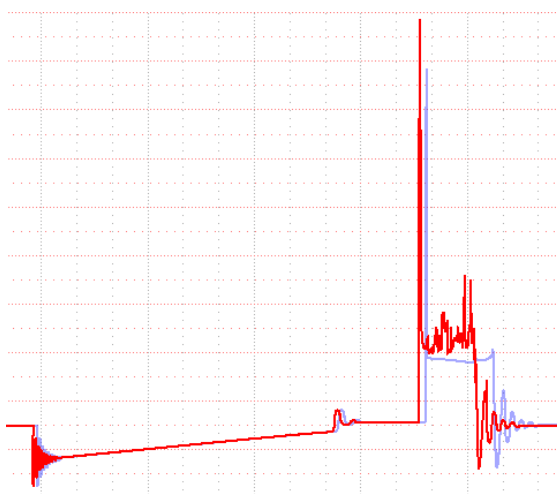


Рисунок 3.13 – Форма осцилограми, за забруднення свічкових електродів (без використання втулок).

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

3.2 Технологія модернізації свічки запалювання

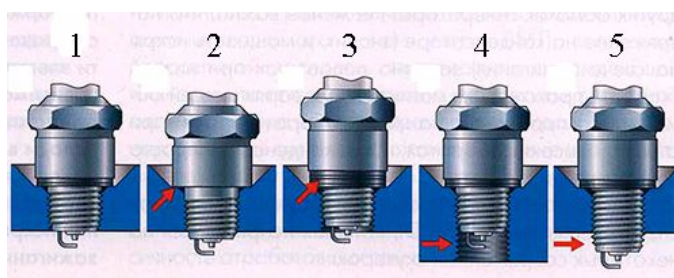
Для заміни свічок запалювання, необхідно послідовно проводити наступні операції:

1. Від'єднати від акумулятора мінусову клему.
2. Вимкнути контактні провідники, ретельно позначаючи їх порядок маркером або будь-яким іншим способом.
3. Обережно послабити ключем та викрутити свічки запалювання.
4. Оглянути свічки (зовнішній вигляд - показник їхньої працездатності).

5. Встановити нові свічки, дотягнувши відповідним ключем.

6. Під'єднати необхідні високовольні провідники, дотримуючись порядку роботи циліндрів.

Також слід відмітити, що досить часто відбуваються випадки, коли експлуатаційники, не дотримуючись технічних вимог неправильно підбирають чи встановлюють свічки запалювання, що приводить до негативного явища - заливання контактних елементів, рис. 3.14.



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

Рисунок 3.1 – Неправильний підбір і встановлення свічки запалювання.

3.2.1 Обґрунтування принципової схеми захисної вставки

Для часткової модернізації свічок запалювання та забезпечення їхнього повного експлуатаційного ресурсу, пропонується встановити захисні втулки на різьбове з'єднання із головкою блоку циліндрів, рис. 3.14.

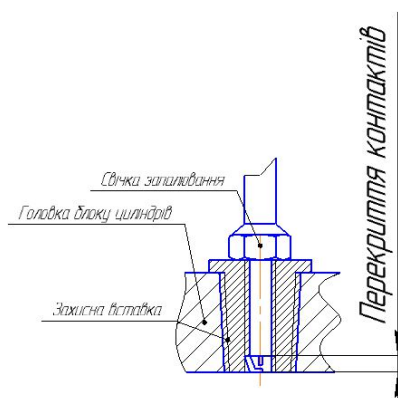


Рисунок 3.14 – Захисна вставка для свічки запалювання.




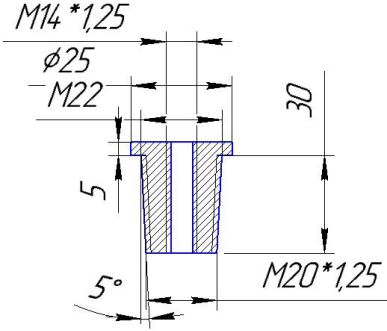
Дана захисна вставка, частково захищатиме бокове попадання не розпиленої паливної маси на контакти свічки запалювання, особливо під час запуску холодного двигуна.

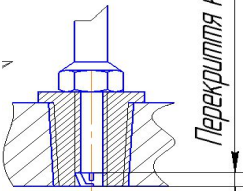
Доведено, що 80% амортизаційного періоду двигунів автотехнічних засобів, припадає на їхні пускові властивості. Відповідно, за даний період, надійно повинні працювати паливна система і система запалювання. Для надійної роботи останньої, нами запропоновано встановити захисні вставки на свічки запалювання, що дадуть змогу частково уникнути паливного заливання робочих електродів.

Нами представлено технологічно-операційну карту, на встановлення захисної втулки на свічку запалювання, табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технологічно-операційна карта на встановлення захисної вставки

№ операції	Вид операцій	Складові елементи	Обладнання для проведення операцій	Час проведення операцій, хв.
1	<p>Встановити автомобіль на стоянкове гальмо</p> 	Блокуються задні колеса	Стоянковий гальмівний важіль	До 3
2	<p>Вимкнути запалювання та відкрити і зафіксувати капот</p> 	Капот (захисний елемент двигуна)	Блокувальний важіль	До 1

Продовження таблиці 3.1				
3	<p>Зняти мінусову клему із акумуляторної батареї</p> 	Клема «-»	Ключ на 13 мм	До 5
4	<p>Підібрати ключ та вигвинтити свічку запалювання</p> 	Свічка запалювання	Свічний ключ на 20,8 мм	До 5
5	<p>Підібрати свердло та розсвердлити отвір під вставку</p> 	Головка блоку циліндрів	Свердло 10×20 мм	До 8
6	<p>Встановити захисну вставку у головку блоку циліндрів</p> 	Захисна вставка	Ключ 21 мм	До 15

Продовження таблиці 3.1				
7	Загвинтити свічку у вставку 	Свічка запалювання	Ключ 21 мм	До 8
8	Запустити двигун та перевірити роботу свічки запалювання	Модернізована свічка запалювання	Замок запалювання	До 10
Загальна тривалість операцій				50

У представленій операційній карті описано та сформовано дії працівника СТО, які направлені на швидке відновлення роботи свічки запалювання та реставрацію головки блоку циліндрів (коли вийшло із ладу різьбове з'єднання свічки і головки (втрата герметичності). На наше переконання, захисна втулка підвищить амортизаційний період свічки та надійний запуск бензинового двигуна у холодний період.

На рисунку рис. 3.15, відображено скорочену схему технологічно-операційної карти на модернізацію системи запалювання моно інжекторного двигуна.

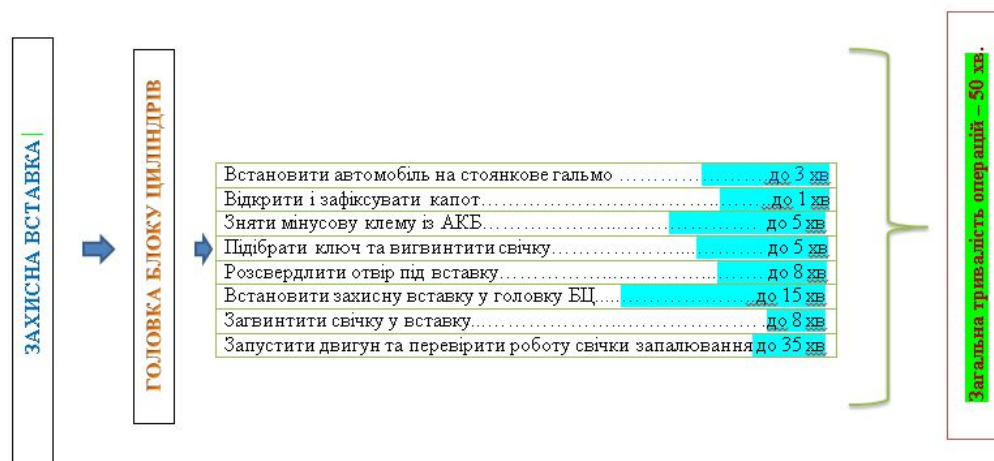


Рисунок 3.4 – Скорочена форма технологічно-операційної карти на встановлення захисної вставки.

Наведена схема технологічно операційної карти дозволяє працівникові СТО у оптимальні строки модернізувати виконавчі елементи системи запалювання двигуна внутрішнього згоряння.

3.3 Обґрунтування максимального струму під час розмикання первинного кола

3.3.1 Розрахунок величини струму розриву I_p у первинному електричному колі котушки запалювання

Під струмом розриву розуміють значення струму, що протікає в первинному ланцюзі системи запалення в момент розмикання контактів (для контактних систем запалення) або в момент закриття вихідного транзистора (для транзисторних систем запалювання) Величина струму розриву за інших рівних умов залежить від часу його протікання. Сучасні системи запалення поділяються на системи з ненормованим і нормованим часом перебігу первинного струму (чи інакше, часом накопичення енергії). Для цих типів систем порядок розрахунку розриву струму різний.

Нормування часу накопичення енергії (або часу перебігу струму в первинному ланцюзі) в даний час здійснюється в системах запалення з керуванням від датчика Холла (БСЗ ДХ). Внаслідок низького значення сумарного опору первинного ланцюга значення первинного струму, що встановилося, досить велике.

Розглянемо порядок розрахунку залежності струму розриву I_p від частоти обертання колінчастого валу двигуна n для безконтактної системи запалення з нормованим часом накопичення енергії. У цій системі запалення використовується комутатор 36.3734-20. Оскільки в цьому комутаторі в більшій частині діапазону частот обертання струм первинного ланцюга системи запалювання встигає за час накопичення досягти встановленого значення, розрахунок струму розриву слід проводити у два етапи.

На першому етапі визначають час наростання $t_{нар}$ первинного струму до величини струму обмеження I_0 :

$$t_{нар} = \frac{-L_1 \cdot \ln\left(1 - \frac{I_0 \cdot R_{ц}}{U_{п} - U_{кэнас}}\right)}{R_{ц}} = \frac{-3,7 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(1 - \frac{8 \cdot 0,93}{13,8 - 1,6}\right)}{0,93} = 3,745 \cdot 10^{-3} \text{ с,} \quad (3.1)$$

де $R_{ц} = R_{п} + R_{л} + R_{к} + R_{н} = 0,1 + 0,43 + 0,3 + 0,1 = 0,93$ Ом – загальний опір первинної обмотки;

$R_{н} (R_{12}) = 0,1$ Ом – опір резистора,

$U_{кэнас} = 1,6$ - напруга насичення ділянки $k - e$ транзистора BU931ZP1 [6].

Розраховуємо значення граничної частоти обертання двигуна $n_{гр}$ за формулою:

$$n_{гр} = \frac{A}{3t_{нар}} = 5341 \text{ об/хв,} \quad (3.2)$$

де A - величина, що відповідає високому рівню сигналу з датчика Холла і вимірювана в градусах повороту валика розподільника (для комутатора 36.3734-20 $A = 60$ ПРВ [5]).

На другому етапі розраховуємо за формулою залежність струму розриву від частоти обертання в діапазоні частот обертання двигуна $n > n_{гр}$.

Таблиця 4 - Залежність часу перебігу первинного струму та струму розриву від частоти обертання колінчастого валу двигуна.

n , об/хв	150	1000	2000	3000	4000	5000	5341	6000
t , с	133	20	10	6,67	5	4	3,745	3,333
I , А	8	8	8	8	8	8	8	7,443

За отриманими значеннями, будемо графічну залежність $I_p = f(n)$, зображену рис. 3.5.

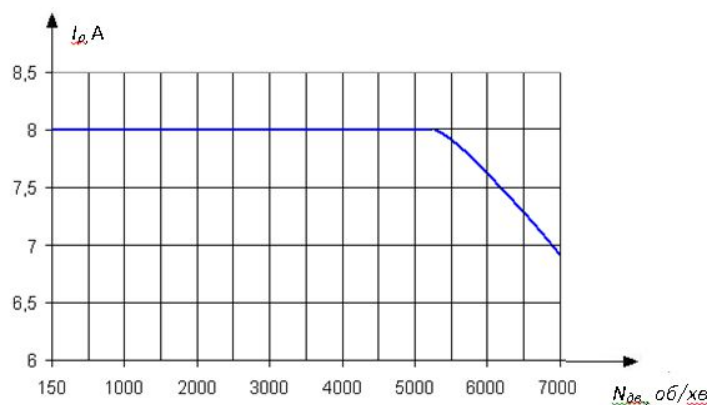


Рисунок 3.5 - Залежність струму розриву від частоти обертання колінчастого валу двигуна

У діапазоні частот обертання $n_{сп}$, приймають $I_p = I_0 = const = 8 \text{ A}$.

При $n > n_{сп}$ величину струму розриву розраховують за такою формулою:

$$I_p = \frac{U_I - U_{\text{виз}} \left(1 - \exp\left(\frac{-t_H \cdot R_0}{L1}\right) \right)}{R_0} = \frac{12,2 \left(1 - \exp\left(\frac{-3,333 \cdot 10^{-3} \cdot 0,93}{3,7 \cdot 10^{-3}}\right) \right)}{0,93} = 7,443 \text{ A} \quad (3.3)$$

$$\text{де } t_H = \frac{A}{3n} = \frac{60}{3 \cdot 6000} = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (3.4)$$

Розрахунки показують, що чим вища сила струму під час розмикання первинного кола котушки, тим кращий запуск двигуна.

3.4 Висновки

Для визначення якості роботи свічок запалювання, представлено технологічно поетапну оцінку осцилограми електричного імпульсу пробивної напруги, за різного впливу негативних факторів, що становить близько 18 кВ.

Представлено технологічно-операційну карту, для встановлення захисної вставки у між різьбове з'єднання (свічка + головка циліндрів).

Пробивна сила струму при розмиканні первинного кола котушки запалювання становить близько 8 А.

4. РОЗДІЛ. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій

Наявність електронного обладнання на автомобілі, вимагає стабільної подачі електричної енергії від бортових джерел (без будь яких перепадів напруги). Тому, під час проведення діагностики, слід суворо дотримуватися наступних запобіжних заходів [15]-[18]:

- не допускати відключення акумулятора від бортової електромережі автомобіля за працюючого двигуна.
- під час дозарядки (від зовнішнього джерела) акумулятора, слід вимкнути бортову електромережу.
- перед демонтажем будь-яких елементів ЕСУД, необхідно від'єднати мінусову клему акумуляторної батареї.
- не допускається підключення або відключення елементів (давачів та виконавчих пристроїв функціональних систем) ЕСУ під час увімкненого запалювання.
- перед проведенням електрозварювальних робіт, необхідно від'єднати мінусову клему акумуляторної батареї та елементи ЕСУ.
- не допускається піддавати ЕБУ, впливу температури вище 80 °С.
- для виключення корозії з'єднувальних електричних пинів (під час очистки), забороняється спрямовувати струмінь пари на елементи ЕСУД.
- щоб уникнути пошкодження справних вузлів, не допускається застосування контрольно-вимірювального обладнання, не зазначеного в діагностичних картах.
- вимірювання напруги, слід виконувати вольтметром з номінальним внутрішнім опором 10 МОм.
- для запобігання пошкодження електронного обладнання електростатичним зарядом, забороняється торкатися контактних пинів (з'єднувачів або

елементів) друкованої плати ЕБУ.

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

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

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

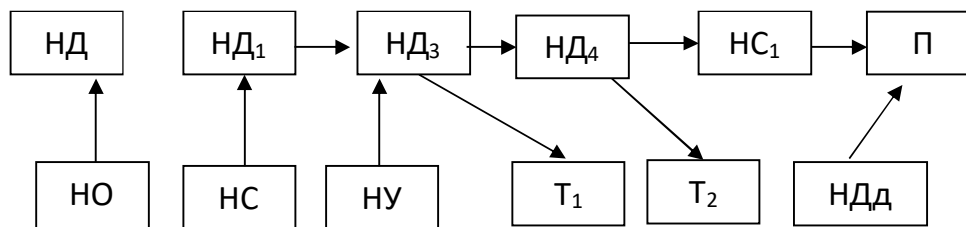
- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця (відсутність огороження рухомих деталей або робочих органів, відсутність або недосконалість спеціальних технічних засобів безпеки: блокувальних пристроїв, засобів сигналізації тощо), конструктивні недоліки окремого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

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

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

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

Нами розроблена схема травмонебезпечних ситуацій, під час модернізації системи запалювання бензинового двигуна, рис, 4.1.



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

Рисунок 4.1 - Блок-схема небезпечних ситуацій під час встановлення захисної вставки.

4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Вплив автомобільного транспорту в забрудненні навколишнього середовища і негативному впливі на населення (очевидно) ще більш істотний, ніж прийнято вважати, саме [15]:

1. Основна кількість автомобільного транспорту зосереджена в місцях з високою щільністю населення - містах, промислових центрах;

2. Шкідливі викиди від автомобілів виробляються в самих нижніх, приземних шарах атмосфери, там, де протікає основна життєдіяльність людини і де умови для їхнього розсіювання є найгіршими;

3. Відпрацьовані гази двигунів автомобілів містять висококонцентровані токсичні компоненти, що є основними забруднювачами атмосфери. Час, протягом якого шкідливі речовини природним способом зберігаються в атмосфері, оцінюється від десяти діб до півроку. Слід зазначити, що у

відпрацьованих газах автомобільних двигунів міститься більш 200 токсичних хімічних сполук, велика частина яких представляє різні вуглеводні. Крім прямого негативного впливу на людину, викиди від автотранспорту наносять і непрямой шкоди. Так, підвищення концентрації кінцевого продукту горіння автотранспортного палива - діоксид вуглецю, призводить до глобального підвищення температури земної атмосфери (так званий парниковий ефект). На думку багатьох експертів, наслідком цього, є такі природні катаклізми, як масштабні пожежі в Південно-Східній Азії, Америці, Сибіру, поєднані в Європі й Азії.

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

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

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

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

4.3 Пожежна безпека

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

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

Для розрахунку блискавковідводу станції ТО, необхідно знати розміри будівлі (вона становить 50x20x8 м).

У подальшому, розрахунок проводять за наступною методикою. Приймається довільна висота блискавковідводу h , м (приблизно $2h_x$) і визначаються контури захисних зон, що утворюються. Якщо у випадку споруда знаходиться в її межах, розрахунки припиняються або висота блискавковідводу і зводиться до оптимальних розмірів, що є економічно вигідно.

Радіус захисту r_x подвійного блискавковідводу одинарного стержневого захисту висотою менше 30м (рис. 5.1) визначиться за відношенням [2]:

$$r_x = 1,6 \cdot h \cdot \frac{h - h_x}{h + h_x} \quad (4.1)$$

де h – висота блискавковідводу, м;

h_x – висота будівлі, м.

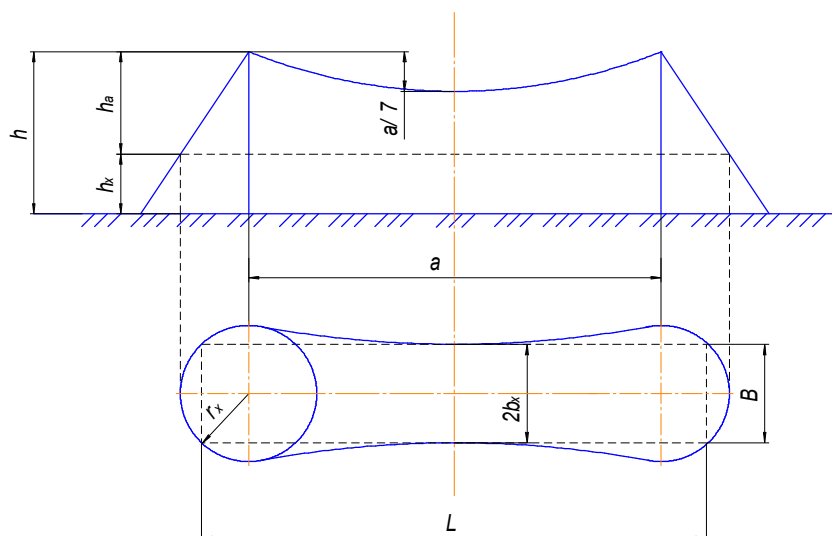


Рисунок 4.1 - Схема блискавкового захисту лабораторії від пожежі.

Приймаємо висоту блискавковідводу $h = 20$ м.

Тоді ,

$$r_x = 1,6 \cdot 20 \cdot \frac{20-8}{20+8} = 13,7 \text{ м}$$

Захисна дія блискавкозахисту характеризується коефіцієнтом захисту

k_x :

$$k_x = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}}. \quad (4.2)$$

Тоді,

$$k_x = \frac{1,6}{1 + \frac{8}{20}} = 1,14$$

Граничний коефіцієнт k_x за висоти блискавковідводу менше 30м становить 1,14.

Ширина внутрішньої захисної зони $2b_x$ на висоті h_x визначиться за формулою:

$$2b_x = \frac{7h_a - a}{14h_a - a} \cdot 4r_x \quad (4.3)$$

де h_a – активна висота блискавковідводу, м;

a – віддаль між блискавковідводами, м.

$$h_a = h - h_x, \quad (4.4)$$

тоді,

$$20 - 8 = 12 \text{ м}$$

Для прямокутних будівель

$$a = L - B. \quad (4.5)$$

Відповідно,

$$a = 50 - 20 = 30 \text{ м}$$

Тоді, розрахункова ширина внутрішньої захисної зони буде рівна:

$$2b_x = \frac{7 \cdot 12 - 30}{14 \cdot 12 - 30} \cdot 4 \cdot 13,7 = 27,43 \text{ м}$$

Отже, навівши контури захисної зони на контури будівлі СТО, що дана будівля вписується у захисну зону і буде захищена від ударів блискавки.

4.4 Висновки

Описано заходи з охорони праці, під час проведення діагностичних робіт легкового автомобіля.

Представлено та змодельовано небезпечні обставини, що можуть призвести до травм чи небезпечних подій у період модернізації системи запалювання.

Проаналізовано організаційно-технічні рекомендації з охорони праці, що забезпечать систему заходів, методику оцінки стану і принципів під час модернізації системи запалювання автомобіля.

5. РОЗДІЛ. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок експлуатаційних витрат

Підвищення надійності у роботі системи запалювання легкового автомобіля (за важких експлуатаційних умов), зменшить витрати палива та підвищить експлуатаційний ресурс двигуна внутрішнього згорання. Неякісна діагностика системи, може призвести до інтенсивного зношування поршневої групи двигуна та відповідно, зниження компресії у циліндрах..

За використання захисних вставок, збільшиться експлуатаційний ресурс свічок запалювання, і відповідно повинні підвищитись експлуатаційні показники та зменшитись експлуатаційні витрати автомобіля, які ми розраховуємо за методикою [19].

Отже, витрати на експлуатацію автомобіля, визначаються за формулою:

$$Z = Z_n + Z_{zm} + Z_{TO} + Z_{av} + Z_{ш} + Z_{zn} \quad (6.1)$$

де Z_n – витрати на пальне;

Z_{zm} – витрати на змащувальні матеріали, $Z_{zm}=1,9$ грн./км;

Z_{TO} – витрати на технічне обслуговування;

Z_{av} – витрати на амортизаційні відрахування;

$Z_{ш}$ – витрати на шини, $Z_{ш} = 0,16$ грн./км;

Z_{zn} – витрати на заробітну плату водія, $Z_{zn} = 9,50$ грн/км.

Грошові витрати на придбання палива (з базовою і модернізованою підвіскою) визначаємо за відомою формулою:

$$Z_n^{\delta} = \frac{C_n^{\delta} \cdot g}{100} \quad 6.2$$

де, C_n^{δ} – вартість палива, $C_n^{\delta}=43,00$ грн./л;

g – витрата палива (з базовою конструкцією), $g = 9,0$ л/100 км.

Тоді:

$$Z_n^{\delta} = \frac{43,00 \cdot 9,0}{100} = 3,87 \text{ грн./км}$$

Тоді, за використання модернізованої системи:

$$Z_n^6 = \frac{C_n^6 \cdot g_n}{100}, \quad 6.3$$

де, $g_{п.п}$ – витрата палива з новими амортизаторами, $g_{п.п} = 7,5$ л/100 км.

Отже:

$$Z_n^6 = \frac{43,00 \cdot 7,5}{100} = 3,22 \text{ грн./км}$$

Розрахунки показують, що витрати на придбання палива для автомобіля з модернізованою системою є дещо нижчими, відносно базової.

Тоді, витрати на ТО автомобіля:

$$Z_{то} = N_{тр} \cdot l_{тр} \cdot 10^{-3} \text{ грн./км} \quad 6.4$$

де, $N_{тр}$ – витрати на автомобіль з модернізованою системою і базовою, $N_{тр} = 79,2$ грн./1000 км.

$$Z_{то} = 79,2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,0792 \text{ грн/км}$$

Витрати на амортизаційні відрахування:

$$Z_{аморт.} = \frac{C \cdot l_p \cdot A_B}{10^5} + \frac{C \cdot l_p \cdot A_{кап.р}}{10^5}, \text{ грн} \quad 6.5$$

де, C – балансова вартість автомобіля, $C = 111000,00$ грн.;

A_B – нормативні амортизаційні відрахування, $A_B = 0,22$ (0,25);

l_p – річний пробіг, приймаємо $l_p = 15000$ км;

$A_{кап.р}$ – нормативні відрахування на капітальний ремонт, $A_{кап.р} = 0,14$

$$Z_{аморт.} = \frac{111000 \cdot 15000 \cdot 0,22}{10^5} + \frac{111000 \cdot 15000 \cdot 0,14}{10^5} = 3663,00 + 2331,00 = 5994,00 \text{ грн.}$$

Згідно виразу (6.1), отримаємо:

- з базовою

$$Z = 3,87 + 1,9 + 0,0792 + 0,25 + 0,16 + 9,50 = 15,76 \text{ грн/км;}$$

- з удосконаленою

$$Z = 3,22 + 1,9 + 0,0792 + 0,22 + 0,16 + 9,50 = 15,07 \text{ грн./км.}$$

А за річний пробіг, витрати будуть мати вигляд ($\epsilon = 0,1$ - коеф., що враховує експлуатацію із неякісно працюючою системою, тобто пробіг рівний близько 1500 км/рік):

- з модернізованою

$$З_d = 15,07 \cdot 1500 = 22605,00 \text{ грн./рік};$$

- з базовою

$$З_d = 15,76 \cdot 1500 = 23640,00 \text{ грн./рік.}$$

Отже, річний економічний ефект (від використання захисної вставки) для 5 – ти автомобілів буде становити:

$$E = (23640,00 - 22605,00) \cdot 5 = 5175,00 \text{ грн./рік}$$

5.2 Висновки

Витрати палива з неякісно робочою системою запалювання (для п'яти транспортних засобів однакових моделей) склали 0,69л./км, відносно модернізованої.

Відповідно, річний економічний ефект від використання модернізованої системи (для 5 – ти легкових автомобілів) складе близько 5175,00 грн./рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

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

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

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

Проведено порівняльний розрахунок теплового балансу бензинового двигуна з об'ємом циліндрів $V=1,6$ л.

Доведено, що ефективна теплота Q_e (за справних свічок запалювання) становила – 23,1%, а за неякісної роботи однієї свічки запалювання склала – 20,5%, що на 2,6 % збільшились втрати ефективної теплоти (за неповного згоряння робочої суміші у циліндрі).

Розраховано пробивну напругу на свічках запалювання (під час запуску холодного двигуна), що склала – 18,9 кВ.

Для визначення якості роботи свічок запалювання, представлено технологічно поетапну оцінку осцилограми електричного імпульсу пробивної напруги, за різного впливу негативних факторів.

Представлено технологічно-операційну карту, для встановлення захисної вставки у між різьбове з'єднання (свічка + головка циліндрів).

Використання захисної вставки, дозволить підвищити експлуатаційний ресурс свічки запалювання (за умови використання якісного леткого палива).

Описано заходи з охорони праці, під час проведення діагностичних робіт легкового автомобіля.

Представлено та змодельовано небезпечні обставини, що можуть призвести до травм чи небезпечних подій у період модернізації системи запалювання.

Проаналізовано організаційно-технічні рекомендації з охорони праці, що забезпечать систему заходів, методику оцінки стану і принципів під час модернізації системи запалювання.

Витрати палива з неякісно робочою системою запалювання (для п'яти транспортних засобів однакових моделей) склали 0,69 л./км, відносно модернізованої.

Річний економічний ефект від використання модернізованої системи (для 5 – ти легкових автомобілів) складе близько 5175,00 грн./рік.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гутаревич Ю. Ф. Зеркалов Д.В., Говорун А.Г. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник. К.: Арістей, 2006. 292 с.
2. Гряник І. М., Лахман С.Д. та інші Охорона праці: Київ.: Урожай. 1994. 187 с.
3. Кисликов В., Лищук В. Будова і експлуатація автомобілів. Вид. Либідь.К.: 2018. 400 с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.
5. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання Навчальний посібник .Вища школа, 2001. 180с.
6. Шевчук Р.С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник). Львів:Львівський національний аграрний університет, 2016. – 236 с.
7. Бороденко Ю.М., Дзюбенко О.А., Биков О.М. Діагностика мехатронних систем автомобіля. Харків: ХНАДУ, 2015. 263 с.
8. Сажко В.А.Електричне та електронне обладнання автомобілів. К.: Каравела, 2004.-304с.
9. Яцун М. А. Електричні машини : навч. Посібник: 2-е вид., стерео. Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 428 с.
10. Лутченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. К.: Вища школа, 2007. 527 с.
11. Лутченко О.А. Технічна експлуатація і ремонт автомобілів: організація і управління. К.: Знання-Прес, 2004. 478 с.
12. Дембіцький В. М., Павлюк В. І., Придюк В. М. Технічна експлуатація автомобілів Навчальний посібник. Інформаційно-видавничий відділ Луцького національного технічного університету. 2018. 472.

13. Лутченко О.А. Технічна експлуатація і ремонт автомобілів: організація і управління. К.: Знання-Прес, 2004. 478 с.
14. Сукач О.М., Миронюк О.С., Паславський Р.І., Шевчук В.В. Методичні рекомендації для виконання кваліфікаційних робіт здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт». Львівський НУП, 2023. 44.
15. Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П., Мазур І.Б. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. *Навч. посібник*. Львів: Сполом. 2022. 376 с.
16. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): *навч. посіб.* / за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2017. Ч. І. 620 с.
17. Правила пожежної безпеки в Україні (ред. 22.01.2022 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>
18. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1299-12#Text>.
19. Розрахунок економічної ефективності механізму [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.google.com/url>.
20. Навчальне середовище «Electude» [Електронний ресурс], режим доступу: <https://lnau.electude.eu>.
21. Електронні системи управління / Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://www.autoezda.com/electr/.html>
22. Електронні системи управління / Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/172/1>.
23. Електронна система «Motronic»/ Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://ppt-online.org/362361>.