

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет “Запорізька політехніка”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
”Електронні системи обладнання автомобіля”  
для студентів спеціалізації G11.02 ”Двигуни та енергетичні  
установки” освітньої програми ”Двигуни внутрішнього згорання” та  
спеціалізації G11.05 ”Транспортні засоби”  
освітньої програми ”Експлуатація, випробування та сервіс автомобілів  
та тракторів”  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни **”Електронні системи обладнання автомобіля”** для студентів спеціалізації G11.02 **”Двигуни та енергетичні установки”** освітньої програми **”Двигуни внутрішнього згорання”** та спеціалізації G11.05 **”Транспортні засоби”** освітньої програми **”Експлуатація, випробування та сервіс автомобілів та тракторів”** усіх форм навчання / Укладачі: Наталя РЯБОШАПКА. Запоріжжя: НУ **”Запорізька політехніка”**, 2025. 119 с.

Укладачі: Наталя РЯБОШАПКА, ст.викл.

Рецензент: Наталія ЄВССЄВА, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: Віктор АЛМАЄВ, зав.лаб.

Затверджено на засіданні кафедри  
”Автомобілі, теплові двигуни та  
гібридні енергетичні установки”  
протокол № 1  
від “29” серпня 2025 р.

Рекомендовано до видання  
НМК Транспортного факультету  
протокол № 1  
від “11” вересня 2025 р.

## ЗМІСТ

		стор.
	ВСТУП.....	5
	Правила техніки безпеки при проведенні лабораторних робіт.....	6
1	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. Електронна система управління двигуном.....	8
1.1	Загальні теоретичні відомості.....	8
1.2	Принцип роботи ЕСУД із зворотнім зв'язком.....	13
1.3	Технологічні особливості та функціональне призначення датчиків ЕСУД.....	14
1.4	Принцип роботи електронного блоку керування.....	19
1.5	Розрахунок тривалості імпульсу відкриття форсунки.....	22
1.6	Діагностичні функції ЕСУД .....	23
1.7	Контрольні питання.....	24
2	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. Датчики положення елементів системи керування двигуном.....	26
2.1	Загальні теоретичні відомості.....	26
2.2	Датчик положення дросельної заслонки (Throttle Position Sensor (TPS)) .....	27
2.3	Перевірка вихідного сигналу ДПДЗ.....	32
2.4	Датчик крайніх положень дросельної заслінки (Throttle Valve Switch) .....	37
2.5	Типові несправності потенціометричних датчиків положення .....	39
2.6	Контрольні питання.....	44
3	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. Датчик абсолютного тиску у впускному колекторі.....	46
3.1	Загальні теоретичні відомості.....	46
3.2	Принцип дії датчика.....	47
3.3	Типові несправності датчика абсолютного тиску у впускному колекторі.....	49
3.5	Диференціальний датчик тиску.....	51
3.6	Контрольні питання.....	52
4	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. Датчики витрати	

	повітря.....	54
4.1	Загальні теоретичні відомості.....	54
4.2	Датчик об'ємної витрати повітря (ДОВП).....	55
4.3	Датчик масової витрати повітря - Mass Air Flow Sensor (MAF Sensor).....	61
4.4	Перевірка технічного стану плівкового ДМВП - HFM5	69
4.5	Контрольні питання.....	76
5	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. Датчики температури двигуна.....	78
5.1	Загальні теоретичні відомості.....	78
5.2	Принцип дії датчиків температури двигуна	79
5.3	Типові несправності датчика температури двигуна	82
5.4	Контрольні питання.....	84
6	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. Датчик кисню.....	85
6.1	Загальні теоретичні відомості.....	85
6.2	Вузькосмугові датчики кисню.....	90
6.3	Широкосмугові датчики кисню (ШДК).....	94
6.4	Датчики збідненої суміші (Sensors Lean Mixture).....	99
6.5	Датчики складу суміші (Air Fuel Ratio Sensor).....	103
6.6	Перевірка технічного стану датчика кисню .....	106
6.7	Контрольні питання.....	116
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	118

## ВСТУП

Дисципліна «Електронні системи обладнання автомобіля» є складовою частиною професійної підготовки фахівців спеціалізацій G11.02 «Двигуни та енергетичні установки» освітньої програми «Двигуни внутрішнього згорання» та G11.05 «Транспортні засоби» освітньої програми «Експлуатація, випробування та сервіс автомобілів та тракторів» усіх форм навчання.

Метою вивчення дисципліни є формування у студентів знань про принципи побудови, функціонування, діагностування та обслуговування електронних систем, які забезпечують роботу сучасних автомобілів. Вона сприяє розвитку професійних компетентностей, необхідних для розуміння процесів керування роботою двигунів внутрішнього згорання, трансмісії, систем безпеки, комфорту та енергозабезпечення транспортних засобів.

Виконання лабораторних робіт має на меті закріплення теоретичних знань і набуття практичних навичок у вимірюванні електричних величин, дослідженні принципів роботи датчиків, виконавчих пристроїв і блоків керування, аналізі електронних схем, а також у використанні сучасних методів діагностування автомобільної електроніки.

Методичні вказівки містять короткі теоретичні відомості, опис лабораторного обладнання, порядок виконання робіт і контрольні питання для самоперевірки. Їхнє використання допоможе студентам оволодіти сучасними методами експериментальних досліджень і сформувати практичні вміння, необхідні для подальшої інженерної діяльності в галузі транспортного машинобудування.

## **ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

До роботи з апаратурою лабораторій допускаються студенти, які вивчили матеріальну частину, інструкції з експлуатації обладнання, ознайомлені з безпечними методами виконання робіт, пройшли інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки, а також поставили підпис у відповідній документації.

При проведенні робіт на лабораторному устаткуванні дозволяється вмикати обладнання тільки після отримання усного дозволу викладача чи особи яка відповідає за проведення лабораторних робіт

Вмикання обладнання здійснювати згідно порядку, описаному у інструкції з експлуатації лабораторного устаткування.

Постійно слід пам'ятати про факт знаходження лабораторного устаткування під напругою, що може бути небезпечним для життя людини. Безпечним вважається напруга 12 В для вогких та 36 В для сухих приміщень.

При пошкодженні обладнання, кабелів, дротів, несправності заземлення, появи запаху горілого, появи незвичного шуму та інших несправностях, негайно вимкнути електроживлення обладнання та сповістити про те, що сталося, безпосереднього керівника або відповідні служби технічного обслуговування.

**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** намагатися самостійно усунути причину несправності. При виявленні ознак горіння (дим, запах горілого) відімкнути електроживлення, знайти джерело загорання та вжити заходів щодо гасіння пожежі за допомогою наявних первинних засобів пожежогасіння, сповістити про ситуацію безпосереднього керівника робіт та не допускати в небезпечну зону сторонніх осіб.

**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** застосовувати воду та пінні вогнегасники для гасіння електрообладнання. Використовувати для цих цілей лише вуглекислотні або порошкові вогнегасники.

При нещасному випадку на виробництві та наявності травмованих:

– усунути вплив шкідливих факторів, що загрожують здоров'ю та життю потерпілих (звільнити від дії електричного струму, погасити палаючий одяг і т.д.);

– надати першу долікарську допомогу (див. додаток 3);

– викликати швидку медичну допомогу або лікаря, або вжити заходів для транспортування потерпілого до найближчої лікувальної установи.

Особливу обережність необхідно дотримуватись при роботі з акумуляторною батареєю. При влученні електроліту на шкіру, уражене місце варто негайно обробити 10%-ним розчином кальцинової соди, а потім обробити водою.

# 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ

### Мета роботи:

- розглянути загальні принципи побудови ЕСУД;
- розглянути функціональне призначення датчиків ЕСУД;
- розглянути загальний принцип роботи електронного блоку керування;
- розглянути діагностичні функції ЕСУД.

### 1.1 Загальні теоретичні відомості

Електронна система управління двигуном (ЕСУД) складається з трьох основних частин:

- електронний блок керування (ЕБУ);
- датчики;
- виконавчі механізми.

Електронна система управління двигуном управляється електронним блоком керування (ЕБУ). ЕБУ використовує інформацію, що надходить на нього від різних датчиків для того, щоб визначити оптимальну кількість палива, яке впорскується паливними форсунками, момент упорскування палива, момент запалювання робочої суміші в циліндрі, а також визначити коригуючі коефіцієнти для встановлення необхідної частоти обертання двигуна на режимі холостого ходу. Відповідно до отриманих результатів розрахунків ЕБУ створює керуючі сигнали і надсилає їх до певних виконавчих механізмів (рис. 1.1).

Датчики вимірюють параметри роботи системи, для того, щоб визначити необхідну кількість палива, що подається, момент запалювання і необхідну витрату повітря двигуном на режимі холостого ходу. Параметрами які вимірюють датчики є: температура охолоджуючої рідини, витрата повітря тощо. Сигнали з цих датчиків є вхідними параметрами для електронного блоку управління.

ЕСУД керує роботою наступних основних систем двигуна (рисунок 1.1):

- система подачі палива;
- система запалювання;

- система управління витратою повітря;
- система управління токсичністю відпрацьованих газів.

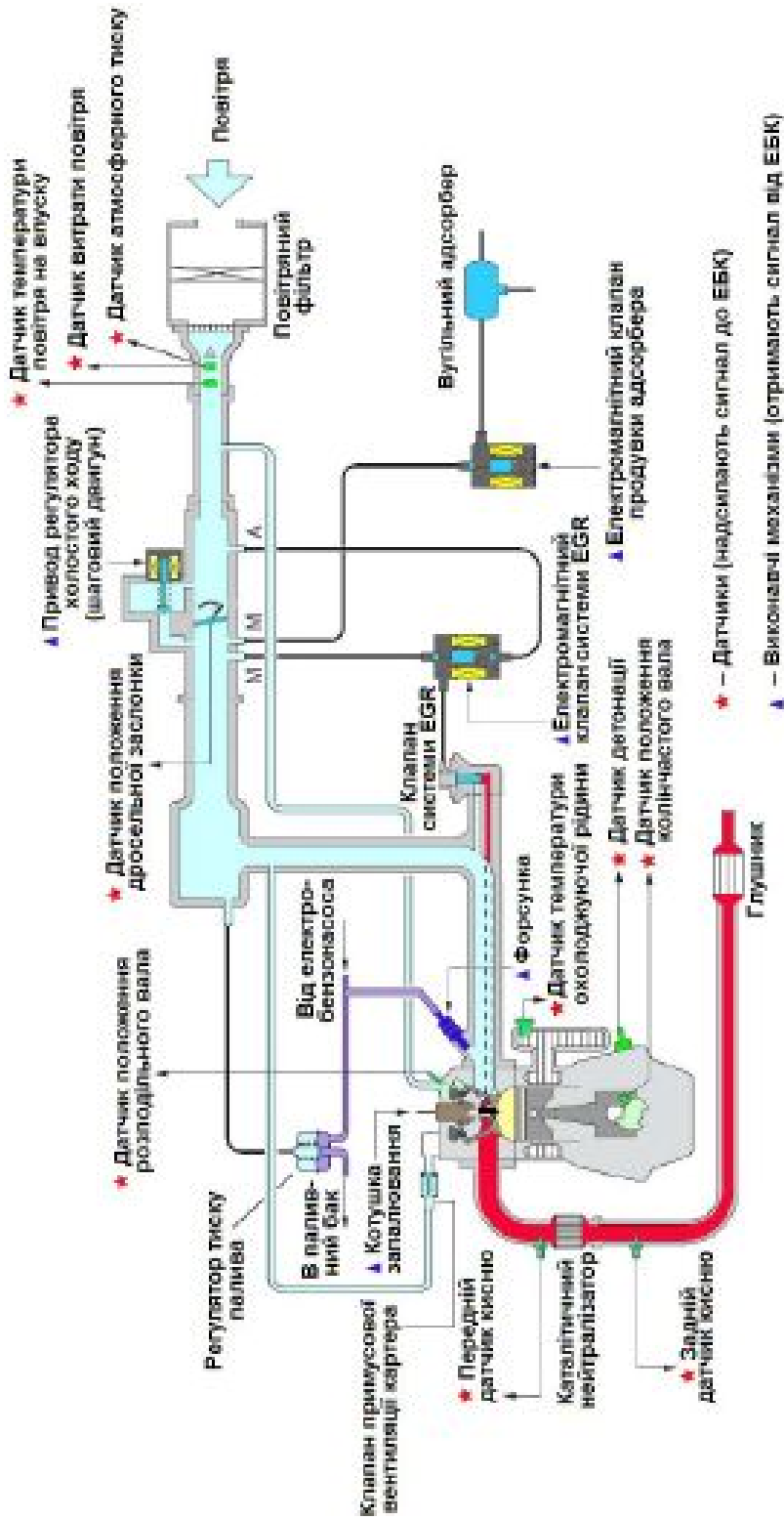


Рисунок 1.1 – Принципова схема електронної системи управління ДВИГУНОМ

Система подачі палива виконує точне дозування палива, забезпечуючи оптимальне співвідношення між одержуваною потужністю, паливною економічністю і низьким рівнем токсичності відпрацьованих газів.

ЕБУ отримує сигнали від відповідних датчиків і управляє паливними форсунками таким чином, щоб забезпечити найкращий склад повітряно-паливної суміші на різних режимах двигуна. Об'єм палива, що впорскується задається часом роботи форсунки (часом впорскування). Існує розрахований базовий час впорскування, який змінюється в залежності від обертів двигуна і маси повітря, що поступає. При зміні режимів роботи, паливна система негайно до них підлаштовується. Відповідно до сигналів від різних датчиків і до дорожніх умов обчислюється оптимальний час відкриття форсунок, тобто об'єм палива, що впорскується.

Для забезпечення ефективного згоряння, *система запалювання* повинна запалювати повітряно-паливну суміш в циліндрі двигуна в точно заданий момент. Правильно вибраний момент запалювання гарантує, що теплова енергія яка виділяється і тиск в циліндрі тиск який виникає в результат згоряння, вивільняються в оптимальний момент відповідно із положенням поршня. ЕБУ отримує сигнали від датчика положення колінчастого валу, датчика положення розподільного валу та датчика витрати повітря і управляє моментом запалювання. Додатково кут випередження запалювання коригується відповідно до умов роботи двигуна, такими як температура охолоджуючої рідини, температура повітря, атмосферний тиск, детонація тощо.

Система управління витратою повітря складається з системи регулювання витрати повітря і системи управління обертами холостого ходу. *Система регулювання витрати повітря* забезпечує оптимальне регулювання потоку повітря при русі автомобіля на навантажувальних режимах. Регулювання витрати повітря здійснюється шляхом зміни положення дросельної заслонки, за допомогою механічного або електричного приводу.

*Система управління обертами холостого ходу* регулює витрату повітря через систему впуску при повністю закритій дросельній заслонці. На вхід системи надходить інформація про значення поточних параметрів двигуна і навколишнього середовища, включаючи дані про частоту обертання двигуна і положення

дросельної заслонки. Сервопривод регулює витрати повітря відповідно до команд, які отримуються від ЕБУ.

При розрахунку співвідношення повітря-паливо використовується три способи визначення кількості повітря, що надходить в циліндри:

1. На більш ранніх моделях автомобілів використовується датчик витрати повітря типу Karman (Karman Vortex – вихори Кармана). Такий датчик забезпечує вимірювання об'єму повітря, що надходить у двигун. Масова витрата розраховується з урахуванням щільності повітря.

2. На сучасних двигунах застосовуються датчики, які безпосередньо вимірюють масову витрату повітря (MAF – Mass Air Flow).

3. У системах, які використовують непрямий принцип вимірювання витрати повітря використовують датчик абсолютного (барометричного) тиску у впускному колекторі (MAP sensor – Manifold Absolute Pressure Sensor). Масова витрата повітря в цьому випадку не вимірюється, а розраховується на підставі вимірювання таких параметрів як тиск у впускному колекторі, оберти двигуна, температура повітря.

Системи управління токсичністю відпрацьованих газів необхідні для зниження вмісту вуглеводнів (СН), окису вуглецю (СО), і оксидів азоту (NO<sub>x</sub>). На сучасних автомобілях встановлюються наступні системи, що знижують викиди шкідливих компонентів у відпрацьованих газах.

*Система примусової вентиляції картера (PCV).* Частина газів з камери згорання проривається, через нещільність поршневих кілець, в картер двигуна. Ці гази (blow-by gases) токсичні і при попаданні в атмосферу завдають шкоди навколишньому середовищу.

Клапан примусової вентиляції картера (PCV valve) є основним елементом цієї системи. Він пропускає картерні гази у впускний колектор, де вони, перемішуючись з повітряно-паливною сумішшю, направляються в камеру згорання двигуна.

*Система уловлювання парів палива* забезпечує накопичення парів палива які утворюються в паливному баку в вугільному адсорбері. Такі пари палива складаються в основному з летких вуглеводнів (СН).

Під час продувки адсорбера накопичені в ньому пари палива змішуються із повітрям, яке надходить у двигун, і згорають в циліндрах двигуна.

*Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR)* на деяких режимах роботи двигуна відбирає частину відпрацьованих газів з випускного колектора і направляє їх у впускний колектор для зниження температури в камері згорання.

Оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) утворюються в відпрацьованих газах як результат згорання сумішей при високих температурах і саме система EGR дозволяє їх значно знизити.

*Каталітичний нейтралізатор* допомагає знизити вміст шкідливих компонентів, будучи, по суті, другою камерою згорання. Він сприяє прискоренню протікання хімічних реакцій, що ведуть до зниження концентрації шкідливих викидів у відпрацьованих газах. Для того щоб каталітичний нейтралізатор працював найефективніше склад робочої суміші повинен підтримуватися в строго заданому співвідношенні (стехіометричний склад суміші).

Для контролю та діагностування роботи системи управління токсичністю відпрацьованих газів та елементів системи подачі палива застосовується система бортової діагностики (OBD).

Принцип роботи ЕСУД зводиться до наступного. ЕБУ забезпечує точне управління подачею палива, моментом запалювання, частотою обертів холостого ходу і складом відпрацьованих газів по циклічній схемі: «вхідний сигнал – прийняття рішення – дія».

Для визначення стану і поточних умов роботи двигуна ЕБУ використовує вхідні сигнали, що надходять від різних датчиків і вимикачів.

Електронний блок управління використовує отриману від датчиків інформацію для прийняття певного рішення у відповідності із закладеною в нього програмою.

Після завершення етапу обчислень на виході ЕБУ формуються керуючі сигнали їх значення, які надходять на відповідні виконавчі механізми. Виконавчі механізми забезпечують точну реалізацію керуючих впливів.

Виконавчими механізмами або актюаторами – називаються пристрої, за допомогою яких ЕБУ здійснює керуючий вплив. Можна виділити три основних виконавчих механізмів ЕСУД:

1. Паливні форсунки – управління подачею палива.
2. Сервопривод регулятора холостого ходу або електронно-керована дросельна заслінка – регулювання частоти обертів холостого ходу.
3. Силовий транзистор та котушка запалювання – управління моментом іскроутворення.

Крім основних виконавчих механізмів є і інші виконавчі механізми такі як електромагнітний клапан EGR, електромагнітний клапан продувки адсорбера, реле бензонасоса, реле вентилятора охолодження тощо.

Наприклад, якщо необхідно збільшити частоту обертів холостого ходу, то ЕБУ посилає керуючий сигнал на відповідний виконавчий механізм (регулятор холостого ходу) для збільшення кількості повітря, що подається в двигун в обхід дросельної заслінки.

Виконавчі механізми працюють за сигналами, що отримуються від ЕБУ. Деякі з виконавчих механізмів мають з ЕБУ зворотній зв'язок.

## **1.2 Принцип роботи ЕСУД із зворотнім зв'язком**

Датчики кисню, датчик детонації і деякі інші датчики дозволяють відслідковувати зміну вихідних параметрів роботи двигуна після реалізації керуючих впливів ЕБК. Сигнал з виходу цих датчиків надходить до ЕБУ, що дозволяє забезпечити режим роботи зі зворотним зв'язком.

Зворотній зв'язок дозволяє електронному блоку керування найбільш точно коригувати роботу системи упорскування палива і системи запалювання, а також управління витратою повітря при роботі двигуна на режимі холостого ходу.

*Зворотній зв'язок з управління подачею палива.* Датчик кисню встановлюється в випускному колекторі на шляху проходження відпрацьованих газів і виробляє електричний сигнал в діапазоні від 0В до 1,0 В, в залежності від кількості кисню, що залишається в відпрацьованих газах тобто є функцією повітряно-паливного співвідношення при згоранні суміші. ЕБУ використовує цю напругу в якості сигналу для коригування розрахунку тривалості впорскування палива.

Напруга сигналу в діапазоні від 0,5 до 1,0В свідчить про багату суміш, а в діапазоні від 0 до 0,5 В вказує на бідну суміш.

Коригування подачі палива відбувається у відповідності до рівня вихідного сигналу датчика кисню, який практично миттєво реагує на будь-яку зміну складу суміші.

Режим роботи системи подачі палива, коли ЕБУ безперервно відстежує сигнал датчика кисню, що надходить на нього і автоматично встановлює оптимальні настройки тривалості упорскування палива, називається управлінням подачею палива по зворотньому зв'язку (closed loop – закрита петля).

*Зворотній зв'язок з управління системою запалювання.* Датчик детонації, що встановлюється на блоці циліндрів двигуна, реагує на вібрацію блоку циліндрів в певному діапазоні частот (поява вібрації в цьому діапазоні вказує на появу детонації).

При появі детонації, напруга на виході датчика істотно зростає.

Електронний ЕБУ негайно реагує на отриманий сигнал зменшенням кута випередження запалювання.

При зменшенні амплітуди коливань до нормального рівня, кут випередження запалювання по команді з ЕБК поступово збільшується.

Процес відстежування рівня детонації і коригування кута випередження запалювання відбувається безперервно під час роботи двигуна - режим зворотнього зв'язку по контуру управління системою запалювання.

*Управління системою холостого ходу в режимі зворотнього зв'язку.* При роботі двигуна на режимі холостого ходу (коли дросельна заслінка повністю закрита), ЕБУ безперервно налаштовує витрату повітря через систему холостого ходу. За допомогою датчика положення колінчастого вала двигуна ЕБУ "дізнається", чи досягнута бажана частота обертання чи ні.

Для збільшення або зменшення обертів колінчастого вала двигуна, ЕБУ впливає на сервопривід регулятора холостого ходу (виконавчий механізм), з метою зміни кількості повітря, що надходить у впускний колектор.

### **1.3 Технологічні особливості та функціональне призначення датчиків ЕСУД**

В якості прикладу розглянемо ЕСУД (електронну систему управління двигуном) автомобіля Subaru Outback 2012 модельного року. Автомобіль Subaru Outback обладнаний електронною системою розподіленого уприскування палива (MFI – Multi Fuel Injection).

Для відповідності жорстким вимогам, що пред'являються до якості вихлопних газів, в систему MFI впроваджені новітні програмні та технічні рішення, що забезпечують оптимальне співвідношення паливно-повітряної суміші на різних режимах роботи двигуна.

Паливо в системі живлення знаходиться під постійним тиском і через форсунки 6 (рис. 1.2) впорскується у впускні канали кожного з циліндрів двигуна.

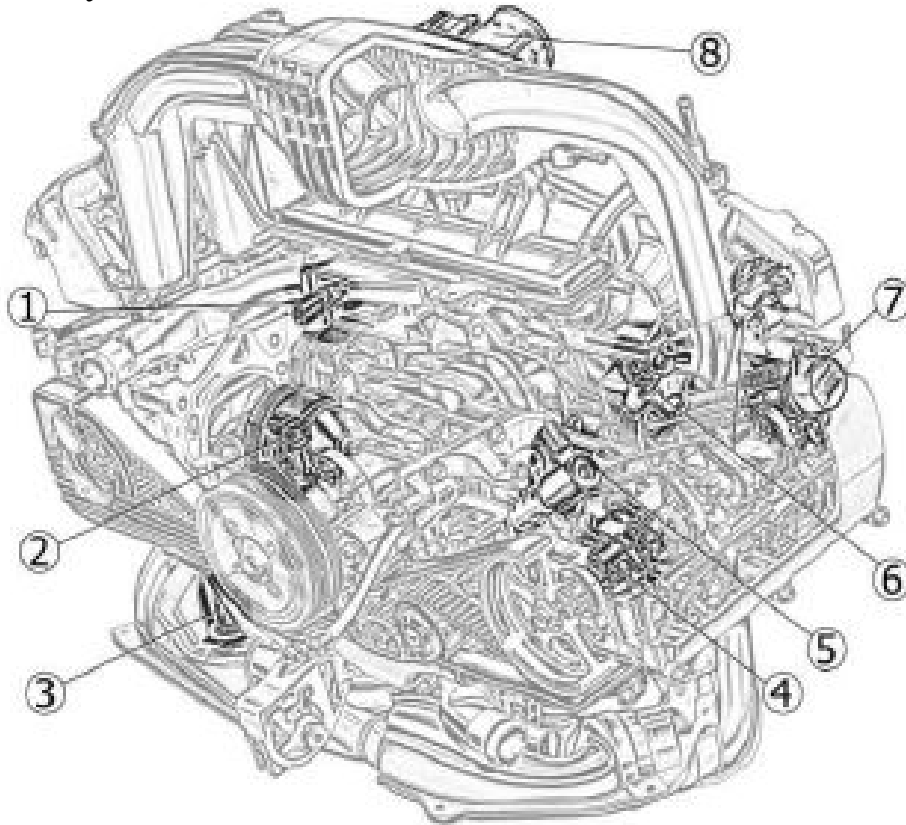


Рисунок 1.2 – Розташування основних компонентів системи MFI на двигуні 2.5 L SOHC автомобіля Subaru Outback:

1 - датчик температури охолоджуючої рідини; 2 - датчик положення колінчастого вала; 3 - передній датчик кисню; 4 - датчик положення озподільного вала; 5 - електромагнітний клапан управління фазами газорозподілу; 6 - форсунка; 7 - котушка запалювання; 8 - електронний дросель

Дозування подачі палива здійснюється шляхом управління тривалістю відкриття електромагнітних клапанів форсунок в точній відповідності із кількістю поступаючого в двигун повітря.

Тривалість відкриття форсунок визначається параметрами електричних імпульсів, які формуються ЕБК (електронним блоком

керування – Electronic Control Module (ECM)), що дозволяє здійснювати досить точне дозування суміші.

ЕБК (ECM) визначає необхідну тривалість керуючих імпульсів на підставі аналізу даних, що безперервно надходять від інформаційних датчиків наприклад про швидкість руху автомобіля, положення дросельної заслонки 8 (рис.1.2), температуру охолоджуючої рідини 1 тощо. Для збільшення подачі кількості палива ривалість сигналу збільшується, а для зменшення подачі палива – зменшується.

*Датчик температури охолоджуючої рідини 1* (рис. 1.2) встановлено в системі охолодження двигуна. Чутливим елементом датчика є термістор, електричний опір якого змінюється обернено пропорційно температурі. При низькій температурі охолоджуючої рідини та навколишнього середовища ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) опір термістора становить близько 100 кОм, при підвищенні температури до  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$  – опір зменшується до 70 Ом.

Електронний блок керування живить ланцюг датчика температури постійною опорною напругою. Напруга сигналу датчика аксимальна на холодному двигуні і знижується в міру його прогрівання. За значенням напруги ЕБК визначає температуру вигуна і враховує її при розрахунку регулювальних параметрів впорскування та запалювання.

При відмові датчика або порушеннях в анцюзі його підключення ЕБК встановлює код несправності і запам'ятовує його. Для усунення несправності перевіряють надійність онтактних з'єднань в дротах, що йдуть до датчика або замінюють сам датчик.

*Датчик температури повітря на впуску* (суміщений з датчиком масової витрати повітря) аналогічний за конструкцією із датчиком температури охолоджуючої рідини, в ньому також використаний термістор, що змінює свій опір залежно від температури.

Напруга сигналу датчика максимальна, коли повітря в впускній трубі холодне, і знижується по мірі підвищення температури повітря. За значенням напруги ЕБК визначає температуру повітря на впуску і вносить корективи при розрахунку кута випередження запалювання. При відмові датчика температури повністю замінюють датчик масової витрати повітря.

*Датчик положення колінчастого вала 2* (рис. 1.3) індуктивного типу призначений для синхронізації роботи електронного блоку

ерування з ВМТ поршнів 1-го та 4-го циліндрів і кутовим положенням колінчастого вала.

Датчик встановлено в передній частині двигуна навпроти задаючого диску на шківі колінчастого вала. Задаючий диск являє собою зубчасте колесо з рівновіддаленими западинами. Два зуби з одного і один зуб з іншого боку диска видалені для створення імпульсів синхронізації («опорних» імпульсів, рис. 1.3), які необхідні для узгодження роботи ЕБК з ВМТ поршнів в 1-м і 4-м циліндрах двигуна.

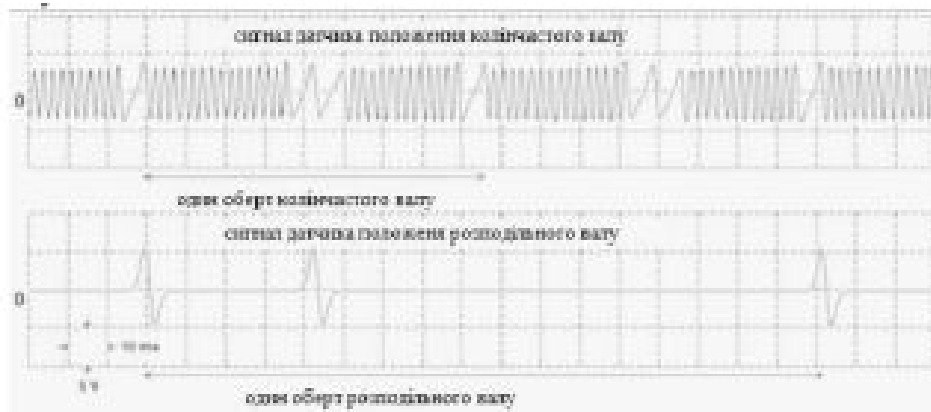


Рисунок 1.3 – Форми сигналів датчиків положення колінчастого і розподільних валів на режимі холостого ходу

При обертанні колінчастого вала зубці диска змінюють магнітне поле датчика, наводячи імпульси напруги змінного струму. Блок управління за сигналами датчика визначає частоту обертання колінчастого вала і видає керуючі імпульси на форсунки і котушки запалювання.

При відмові датчика положення колінчастого валу пуск двигуна неможливий.

Датчик положення розподільного валу 4 (датчик фази, рис. 1.2) призначений для того, щоб визначати кутове положення механізму газорозподілу, у відповідності із положенням колінчастого валу двигуна.

Функціонально датчик положення розподільного валу пов'язаний із датчиком положення колінчастого валу. У датчику положення розподільного валу встановлено постійний магніт, який створює магнітне поле. Зміна напруги відбувається в напівпровіднику. При замиканні репером магнітного зазору відбувається зміна магнітного поля. Репер – це металевий зуб, який розташований

на задаючому диску, який закріплений на торці розподільчого валу.

Сигнал датчика має вигляд представлений на рис. 1.3.

*Датчик положення дросельної заслінки* розташований на осі заслінки в модулі електронної дросельної заслінки (ЕДЗ) 8 (рис. 1.2).

Принцип роботи ЕДЗ полягає в тому, що сигнал датчика положення педалі акселератора зчитується ЕБК, який одночасно генерує сигнал для електромотора, який керує переміщенням дросельної заслінки.

Постійне електронне управління ЕДЗ здійснюється на різних режимах роботи ДВЗ: холостого ходу, перехідних, розгону, гальмування двигуном і при активації круїз-контролю.

Датчик положення дросельної заслінки являє собою потенціометр, на один кінець якого подається «плюс» стабілізованої напруги живлення датчиків (5 В), а інший кінець з'єднаний з «масою». З третього кінця потенціометра (від повзунка) йде вихідний сигнал до ЕБК.

Відстежуючи вихідну напругу датчика ЕБК коректує подачу палива в залежності від кута відкриття дросельної заслінки або положення педалі акселератора.

*Датчик абсолютного тиску у впускному колекторі* перетворює розрідження повітря в колекторі в електричну напругу, за значенням якої ЕБК визначає навантаження двигуна. Датчик встановлений поряд з корпусом дросельної заслінки, безпосередньо на ресивері впускного колектора.

Вихідна напруга датчика змінюється відповідно до тиску у впускному колекторі – від 4,9 В (атмосферний тиск – при повністю відкритій заслінці) до 0,3 В (200-300 мм рт. ст. – при закритій заслінці). При непрацюючому двигуні ЕБК по напрузі датчика визначає атмосферний тиск і адаптує параметри регулювання впорскування до конкретної висоти над рівнем моря. Значення атмосферного тиску, що зберігаються в пам'яті, періодично оновлюються при рівномірному русі автомобіля і під час повного відкриття дросельної заслінки.

*Датчик швидкості автомобіля* встановлений на коробці передач. Принцип дії датчика заснований на ефекті Холла. Датчик видає на електронний блок керування прямокутні імпульси

напруги з частотою, пропорційною швидкості обертання ведучих коліс.

Датчик кисню 3 (рис. 1.2) розташовано в спеціальному отворі випускного колектора. У металевій колбі датчика розташовано гальванічний елемент, який омивається потоком відпрацьованих газів.

Залежно від вмісту кисню в відпрацьованих газах в результаті згоряння паливо-повітряної суміші змінюється сила струму сигналу управління датчиком, спрямована на підтримання напруги в 450 мВ, яка повинна постійно підтримуватися між двома електродами керамічного елемента датчика.

Постійно відстежуючи сигнал керуючого струму, ЕБК коректує кількість палива, що впорскується форсунками. При низькому рівні сигналу ( $< 0$  мА – бідна паливо-повітряна суміш) кількість впорскуваного палива збільшується, при високому рівні сигналу ( $> 0$  А – багата суміш) – зменшується. Для забезпечення правильного функціонування датчика кисню, необхідна температура  $300^{\circ}$  С. Для цього датчик кисню оснащують спеціальним нагрівачем.

#### **1.4 Принцип роботи електронного блоку керування**

ЕБК здійснює управління виконавчими механізмами (актюатором), обчислюючи оптимальні настройки для дорожніх умов кі постійно змінюються, ґрунтуючись на інформації, що надходить від датчиків. Розрахунок керуючих впливів відбувається на підставі програми, попередньо записаної в пам'ять ЕБК.

Крім функції розрахунку і оптимізації витрати палива на різних режимах ЕБК (рис 1.4) здійснює контроль токсичності відпрацьованих газів, виконує режими розгону, холостого ходу і гальмування двигуном, забезпечує необхідні стартові параметри і прогрів двигуна в холодну погоду, виходячи з даних про температуру охолоджуючої ідини і повітря, що поступає, а також проводить моніторинг справності компонентів системи.

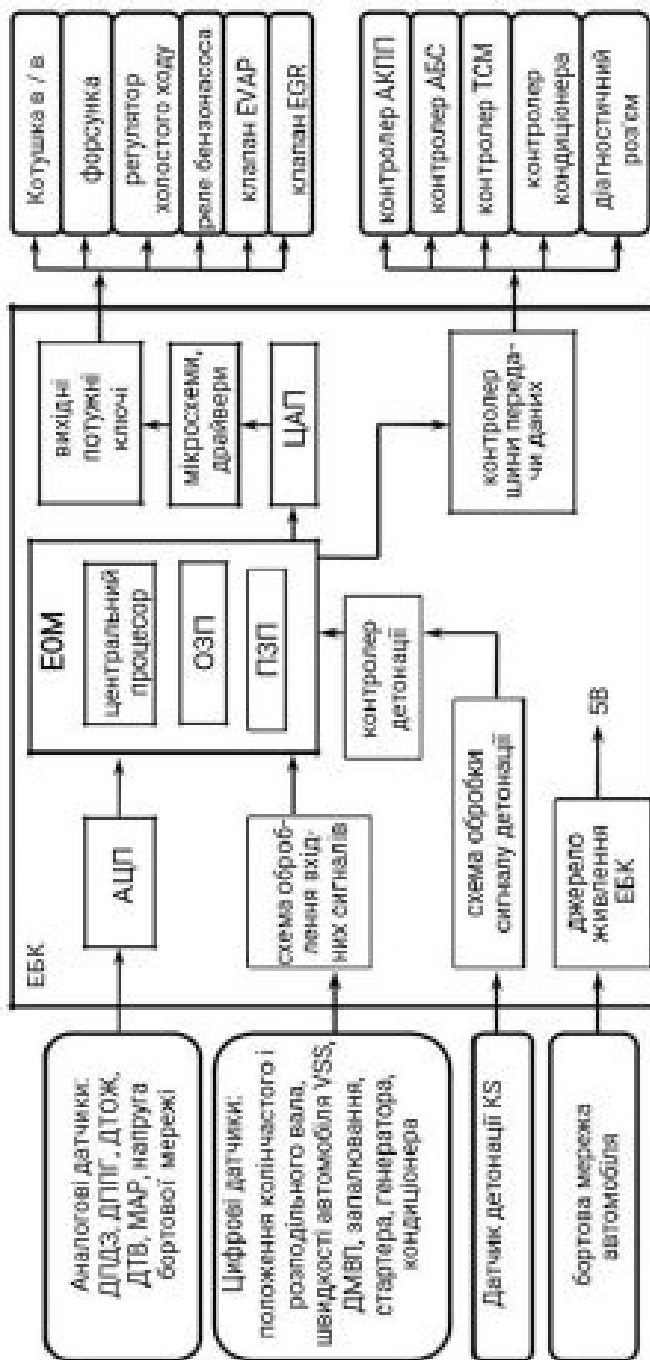


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи електронного управління двигуном

Інформація, що надходить з аналогових датчиків в центральний процесор для послідовного аналізу, підлягає спеціальній обробці з метою перетворення аналогового сигналу в послідовність прямокутних (цифрових) імпульсів зрозумілих процесору. При цьому сигнали аналогових датчиків перетворюються в цифровий вигляд за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Цифрові сигнали від датчиків, що надійшли в ЕБУ, також потребують обробки, оскільки їх форма і амплітуда відрізняються від необхідного виду. Тому імпульси, що генеруються датчиками,

проходять через систему обробки вхідних сигналів, де приводяться до виду прямокутних імпульсів.

Сигнал з датчика детонації проходить окрему обробку і надходить на спеціальний контролер. Після чого оброблений цифровий сигнал подається на центральний процесор, який отримавши ці дані, а також проаналізувавши показники датчиків положення колінчастого і розподільного валів, визначає циліндр в якому відбувається детонація.

Потім процесор змінює тривалість відкриття форсунок в конкретних циліндрах або збільшує кут випередження запалювання.

Структурна схема центральної ЕОМ ЕБК стандартна для подібних пристроїв. Вона складається з:

- центрального процесора;
- оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП або RAM), в якій міститься інформація, необхідна для тимчасового збереження інформації в рамках поточної роботи двигуна;
- постійного запам'ятовуючого пристрою (енергонезалежне ПЗП або ROM), в якому міститься загальна програма управління (алгоритми) і вихідна (базова) інформація. Ця інформація являє собою дані о тривалості впорскування палива форсунками, часу накопичення енергії в котушках запалювання і кутах випередження запалювання при певних режимах роботи ДВЗ. Вміст ПЗП не може бути змінено після програмування. Ця пам'ять не потребує електроживлення для збереження в ній інформації, тобто не стирається при відключенні акумуляторної батареї від бортової мережі автомобіля;
- електрично перезаписуваного енергонезалежного запам'ятовуючого пристрою (ЕПЕЗП або EEPROM) – пам'ять, в яку на заводі або станції технічного обслуговування записується інформація паспортного характеру, а також інформація про параметри початкового налаштування системи. Ця пам'ять не потребує живлення для збереження в ній інформації.

Обробляючи показники датчиків і порівнюючи їх значення з даними, що зберігаються в ОЗП і ПЗП, процесор здійснює необхідну орієнтацію роботи систем двигуна. Впливати безпосередньо на виконавчі механізми центральний контролер не може, оскільки струми перемикачів досить великі і можуть вивести з ладу мікросхему, тому використовується система обробки вхідних сигналів. Вона складається з цифро-аналогового перетворювача

(ЦАП), призначеного для перетворення цифрових сигналів центральної ЕОМ в сигнали, придатні для роботи мікросхем-драйверів. Ці мікросхеми відповідно до отриманої інформації впливають на потужні електронні транзисторні ключі, які і запускають виконавчі зовнішні пристрої.

Для зв'язку і синхронізації роботи ЕБК із зовнішніми електронними пристроями – контролерами АКПП, АБС, клімат контролю, пристроїв діагностики, використовується протокол передачі даних, який керується спеціальним контроллером.

### **1.5 Розрахунок тривалості імпульсу відкриття форсунки**

Програмні алгоритми, що закладені в пам'ять ЕБК і які контролюють двигун, є досить складними і різноманітними. Ці алгоритми враховують різні режими роботи двигуна, включаючи аварійні. Програма використовує формулу і велику кількість пошукових таблиць для визначення тривалості імпульсу впорскування палива для заданих умов (режимів) роботи автомобіля. Формула являє собою добуток ряду показників. Більша частина показників береться зі спеціалізованих таблиць. Розглянемо спрощену формулу обчислення тривалості імпульсу форсунки (Тф). В даному прикладі рівняння містить три показники, в той час як ЕБК може використовувати кілька сотень показників.

$$T_f = (\text{Початкова тривалість імпульсу}) \times (\text{Показник А}) \times (\text{Показник В})$$

Для обчислення тривалості імпульсу, ЕБК в першу чергу визначає тривалість опорного імпульсу в спеціалізованій таблиці. Початкова тривалість імпульсу є функцію частоти обертання двигуна (об/хв) і навантаження (яка обчислюється по абсолютному тиску повітря у впускному колекторі або по масі всмоктуваного повітря).

Припустимо, що частота обертання двигуна становить 2.000 об/хв при навантаженні 4. Потрібне значення ми знайдемо на пересіченні 2.000 і 4, що становить 8 мс (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Тривалість опорного імпульсу

Обороти ДВЗ, об / хв	Навантаження				
	1	2	3	4	5
1.000	1	2	3	4	5
2.000	2	4	6	8	10
3.000	3	6	9	12	15
4.000	4	8	12	16	20

В наступному прикладі, А і В є показниками, які надходять з датчиків. Де А – це температура охолоджуючої рідини, а В – це рівень кисню. Якщо температура охолоджуючої рідини дорівнює  $100^{\circ}\text{C}$ , а рівень кисню дорівнює 3, то, виходячи з даних таблиці, ми отримуємо, що показник А = 0,8, а показник В = 1,0 (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Показники А і В

А - Темп. ОЖ.	показник А	В - рівень кисню	показник В
0	1,2	0	1,0
25	1,1	1	1,0
50	1,0	2	1,0
75	0,9	3	1,0
100	0,8	4	0,75

Знаючи, що початкова тривалість імпульсу є функцією навантаження і частоти обертання, і що  $T_f = (\text{початкова тривалість імпульсу}) \cdot (\text{Показник А}) \cdot (\text{Показник В})$ , то загальна тривалість імпульсу в нашому прикладі дорівнює:  $T_f = 8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 6,4$  мс.

### 1.6 Діагностичні функції ЕСУД

Електронний блок керування ЕБК здійснює ряд діагностичних функцій, що дозволяє спростити пошук причин виникнення несправності. ЕБК аналізує поточну роботу кожного елемента системи або процесу, що відбувається, порівнює отримані значення з еталонними характеристиками і виявляє несправність, яку ідентифікує і записує в пам'яті її код. При виявленні несправності ЕБК (ЕСМ) запалює сигнальну лампу MIL (malfunction indicator lamp) або Check несправності системи управління двигуном, яка розташована в комбінації приладів.

На сучасних автомобілях зчитування кодів несправностей можливо зробити тільки єдиним способом, що полягає в зчитуванні і розшифровці кодів несправності за допомогою спеціального приладу – сканера. А на старих моделях автомобілів зчитування кодів несправностей виконується за чередою блимань сигнальної лампи MIL або сканера.

Після проведення ремонту код або коди несправностей, що зберігаються в пам'яті ЕБК, необхідно видалити (стерти). Для цієї операції також необхідно скористатися сканером. Всі вище перераховані дії сканер здійснює при підключенні його спеціальним кабелем до колодки діагностики DLC (Data Link Connector).

Колодка діагностики, її ще називають діагностичним роз'ємом, служить для отримання інформації про стан компонентів системи та стан самої системи, а також для зчитування з пам'яті ЕБК кодів несправностей, виявлених в експлуатації самою системою ЕБК.

Діагностичний роз'єм розташований в салоні автомобіля в ніші для ніг водія з лівого боку під панеллю приладів. До діагностичного роз'єму крім дилерського сканера, також можна підключити універсальний діагностичний сканер, що працює як по протоколу OBD-II.

Якщо несправний елемент системи грає важливу роль при роботі, але не має руйнівного впливу на роботу двигуна, ЕБК може перейти в так званий аварійний режим (fail-safe).

В цьому режимі ЕБК використовує програму роботи, яка дозволяє двигуну працювати при несправності одного або декількох елементів системи. В такому режимі двигун працює зі зниженою ефективністю, що може привести до погіршення їздових якостей автомобіля.

Однак при відмові критичних елементів системи, таких як датчик положення колінчастого валу, ЕБК не може керувати ні системою запалювання, ні подачею палива тому ЕБК відключає всі системи і припиняє працювати.

### **1.7 Контрольні питання**

1. Яке призначення ЕСУД, з яких основних елементів воно складається?
2. Які існують способи визначення витрати повітря?

3. Яке призначення системи управління токсичністю відпрацьованих газів? Які елементи входять до неї та яке їх призначення?
4. Який принцип роботи роботи ЕСУД із зворотнім зв'язком? В яких системах він використовується?
5. На підставі чого ЕБК визначає тривалість відкриття електромагнітних клапанів форсунок?
6. Який принцип роботи датчика температури охолоджуючої рідини?
7. Яке призначення датчика положення колінчастого валу, та який принцип його роботи?
8. Яке призначення датчика положення розподільного валу, та який принцип його роботи?
9. Яке призначення датчика положення дросельної заслонки, та який принцип його роботи?
10. Яке призначення датчика абсолютного тиску у впускному колекторі, який принцип його роботи?
11. Яке призначення датчика кисню, та який принцип його роботи?
12. Яке призначення ЕБК?
13. Яке призначення центрального процесора та ОЗП ЕБК?
14. Яке призначення ПЗП ЕБК?
15. Яке призначення ЕПЕЗП ЕБК?
16. Який алгоритм розрахунку тривалості імпульсу відкриття форсунки?
17. Що представляє собою діагностична функція ЕСУД?

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ

### Мета роботи:

- розглянути призначення датчиків положення;
- розглянути принцип роботи датчиків положення дросельної заслонки контактного типу;
- розглянути принцип роботи датчиків положення дросельної заслонки безконтактного типу;
- розглянути принцип роботи датчиків крайніх положень дросельної заслонки;
- розглянути принципи перевірки технічного стану потенціометричних датчиків положення.

### 2.1 Загальні теоретичні відомості

Деякі елементи системи управління двигуном мають рухливі механічні вузли, поточний стан яких електронний блок керування (ЕБК) двигуном повинен постійно контролювати з високою точністю. Такими елементами є: датчик об'ємної витрати повітря (витратомір повітря лопасного типу), дросельна заслінка, електронна педаль акселератора (педаль газу без механічного зв'язку з дросельною заслонкою), приводи системи холостого ходу, деякі клапани системи EGR. Для визначення положення цих елементів зазвичай застосовуються потенціометри резистивного типу. В даній лабораторній роботі, як найбільш характерний приклад датчиків даного типу, будуть розглянуті датчики положення дросельної заслонки.

В ранніх системах управління двигунами застосовувалися механічні кінцеві вимикачі для контролю крайніх положень дросельної заслонки. Методика діагностики датчиків кінцевих положень розглянута нижче на прикладі датчика крайніх положень дросельної заслонки.

Пізніше, для досягнення більшої точності дозування палива для приготування паливо-повітряної суміші стали застосовувати потенціометри, які дозволяють досить точно визначати поточний фактичний стан, напрямок зміни положення і швидкість зміни

положення дросельної заслонки. При використанні електронно-керованих автоматичних коробок передач, систем круїз-контролю, проти - блокувальних систем (ABS) з проти - буксовочними (ASR) і проти - заносними (ESP) системами, виникла необхідність не тільки визначати положення дросельної заслонки, а й змінювати, задавати її положення щодо положення педалі акселератора. Для досягнення цієї мети від жорсткої механічного зв'язку між дросельною заслонкою і педаллю акселератора довелося відмовитися (довелося виключити трос, що зв'язує педаль газу з дросельною заслонкою). У пошуках компромісу використовувалися різні конструкції з різним співвідношенням механічного / електронного зв'язку між цими вузлами. Потім цей контроль повністю доручили електронно - стежучим приводам, які здатні забезпечити безпеку руху при будь-якій несправності. При цьому стали застосовувати по два потенціометра в датчику акселератора (в педалі газу) і по два потенціометра в приводі дросельної заслонки. Через недовговічність елементів тертя потенціометрів, замість них стали використовувати подвійні електронні датчики положення безконтактного типу з контролем постійності закономірності зміни двох сигналів. Причому, цей контроль застосовується більше для точного розпізнавання ЕБК несправності, ніж для збереження повної працездатності автомобіля.

## 2.2 Датчик положення дросельної заслонки (Throttle Position Sensor (TPS))

Датчик положення дросельної заслонки (ДПДЗ) розташовано на корпусі вузла дросельної заслонки служить для вимірювання ступеня відкриття дросельної заслінки (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Датчик положення дросельної заслінки

Використовуються ДПДЗ двох типів:

1. Контактні (потенціометричні);
2. Безконтактні (ефект Холла).

### 2.2.1 Датчик положення дросельної заслонки контактного типу

Чутливий елемент такого типу ДПДЗ являє собою потенціометр, вісь якого жорстко пов'язана з віссю дросельної заслонки. На контакти живлення потенціометра подається опорна напруга +5 В і "маса", а рухливий контакт датчика є сигнальним (рис. 2.1 - 2.3).

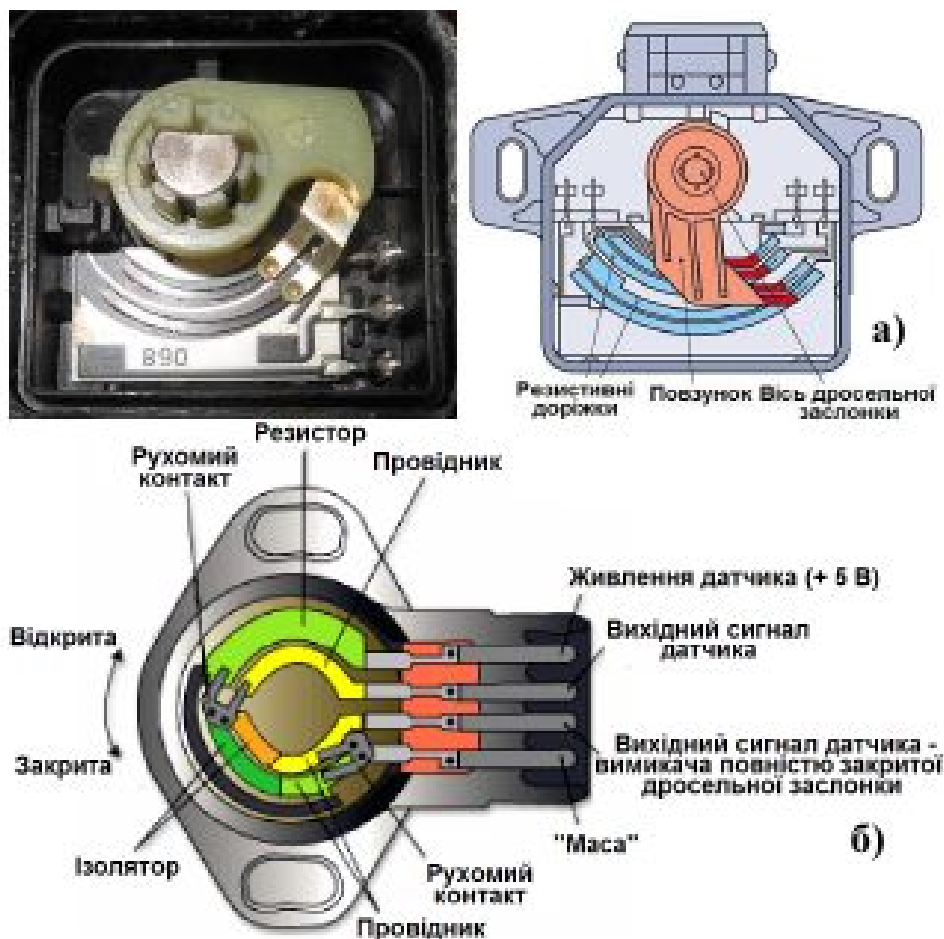


Рисунок 2.2 – Датчик положення дросельної заслонки:

а – потенціометричного типу; б – потенціометричного типу, який об'єднано з датчиком – вимикачем повністю закритої дросельної заслінки

На рис. 2.2 (а) показана конструкція датчика положення дросельної заслінки потенціометричного типу який має плівкові резистивні доріжки контактного типу. Встановлюється такий

датчик на осі дросельної заслінки і в залежності від положення педалі акселератора змінює свою вихідну напругу. Поки дросельна заслонка закрита, напруга на виході з ДПДЗ становить близько 0,5 В. При натисканні на педаль вісь дросельної заслонки повертає повзунок датчика на певний кут. Датчик реагує на відкриття заслонки зміною опору на резистивних доріжках і, як наслідок, підвищенням напруги на виході.

Натиснута до упору педаль акселератора супроводжується підвищенням вихідної напруги близько до 4,5 В. Вихідний сигнал такого датчика представлено на рис. 2.3 (а). Далі вихідна напруга з датчика надходить до ЕБК, який здійснює коригування подачі паливо-повітряної суміші. ДПЗД і ЕБК швидко реагують на зміну положення педалі акселератора, точно дозуючи необхідну кількість палива. Так досягається найбільш раціональний режим роботи двигуна.

На рис. 2.2 (б) показана конструкція датчика положення дросельної заслонки який об'єднано з датчиком-вимикачем повністю закритою дросельної заслонки. Два рухомих контакту переміщуються разом із дросельною заслонкою при її повороті.

Один з рухомих контактів переміщується по контактній поверхні плівкового резистора. Вихідна напруга на виході датчика змінюється лінійно відповідно із кутовим положенням дросельної заслінки. Тому ступінь відкриття дросельної заслонки може оцінюватися величиною вихідної напруги. Крім цього, представляється можливим прогнозувати швидкість відкриття дросельної заслонки по швидкості зміни вихідної напруги з датчика.

Інший рухливий контакт замикає ланцюг тільки в разі повного закриття дросельної заслонки (режим холостого ходу). Цей контакт дозволяє електронного блоку керування двигуном визначити, чи працює двигун на режимі холостого ходу. На деяких моделях ДПДЗ цей контакт не передбачений.

На рис. 2.3 представлено графіки вихідної напруги з ДПДЗ з датчиком-вимикачем.

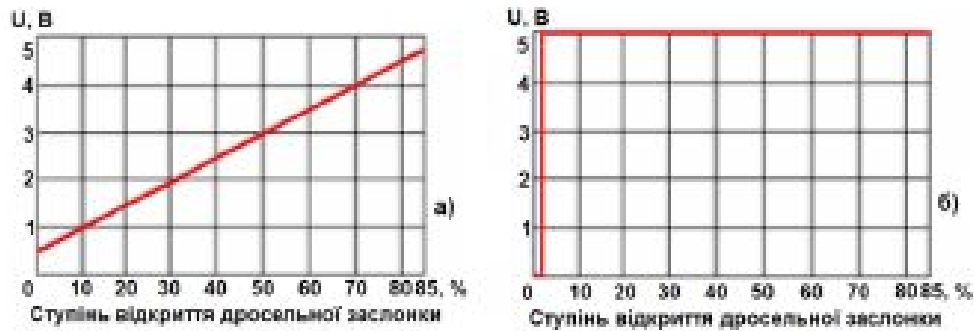


Рисунок 2.3 – Графік вихідної напруги: а) датчика положення дросельної заслінки; б) датчика – вимикача положення дросельної заслінки

### 2.2.2 Датчик положення дросельної заслінки безконтактного типу

ДПДЗ даного типу побудовані на основі елемента Холла. На корпусі дросельної заслінки розташовані нерухомо два датчики (на елементах Холла), а на осі, що обертається закріплені магніти (рис. 2.4 та рис. 2.5).

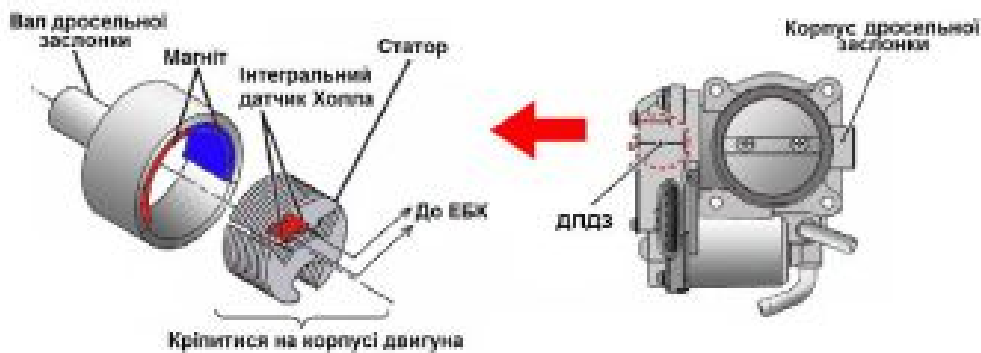


Рисунок 2.4 – ДПДЗ на ефекті Холла



Рисунок 2.5 – Принцип роботи ДПДЗ на ефекті Холла

При обертанні осі заслонки змінюється напрямок силових ліній магнітного поля. Напруга на виході елементів Холла змінюється пропорційно зміні магнітного поля. У середині датчика знаходяться дві вихідні системи – основна і резервна. При повороті дросельної заслонки змінюються обидві вихідні напруги, що дозволяє визначити дійсний кут відкриття дросельної заслонки. Крім того, порівнюються показання основного і резервного датчиків, і перевіряється їх правильність показань, між ними є взаємозв'язок, порушення якого говорить про несправність (рис. 2.6).

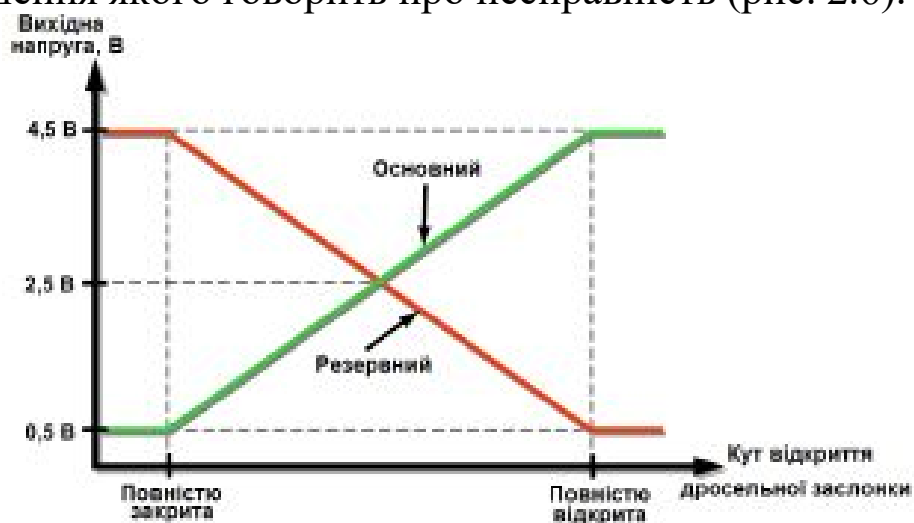


Рисунок 2.6 – Графік вихідної напруги ДПДЗ з основним та резервним сигналами

Датчики розміщені таким чином, що напруга на їх виходах різна. Коли заслонка повністю закрита, то сигнал основного датчика повинен бути близько 0,5 В, а резервного 4,5 В.

У разі якщо дросельна заслонка повністю відкрита, то навпаки сигнал основного датчика повинен бути близько 4,5 В, а резервного 0,5 В (рис. 2.6).

Вихідний сигнал датчика положення дросельної заслонки є одним з базових для розрахунку ЕБК двигуна:

1. Необхідної кількості палива;
2. Для визначення поточного режиму роботи двигуна;
3. Для розрахунку оптимального кута випередження запалювання.

Наприклад, в режимі пуску двигуна кількість палива, що подається розраховується по температурі двигуна, за ступенем

відкриття дросельної заслонки і за фактичною частотою обертання колінчастого вала.

На працюючому двигуні при закритій дросельній заслонці ЕБК двигуна переходить в режим стабілізації частоти обертання колінчастого вала двигуна – режим підтримки холостого ходу. Задана частота обертання колінчастого вала при цьому залежить від температури охолоджуючої рідини, від навантаження на двигун і від швидкості руху автомобіля і регулюється шляхом зміни ступеня відкриття регулятора холостого ходу і зміни кута випередження запалювання.

Для усунення "провалу" тобто запізнювання набору обертів в момент різкого відкриття дросельної заслінки, блок керування двигуном короткочасно подає додаткову порцію палива.

Якщо дросельна заслінка відкрита більше ніж на 70%, блок керування двигуном переходить в режим повного навантаження, забезпечуючи максимальну потужність двигуна шляхом приготування більш збагаченої паливо-повітряної суміші.

Коли під час руху автомобіля дросельна заслінка різко закривається, ЕБК активує режим примусового холостого ходу (або режим гальмування двигуном) шляхом повного припинення подачі палива до тих пір, поки оберти двигуна не знизяться до певної величини.

Інші відносно стаціонарні положення дросельної заслінки між режимом "підтримки холостого ходу" і "повного навантаження", називаються режимом "часткового навантаження" двигуна. В цьому режимі ЕБК підтримує оптимальне співвідношення паливно-повітряної суміші близькою до 1:14,7, за рахунок використання сигналу зворотного зв'язку від датчиків кисню.

### **2.3 Перевірка вихідного сигналу ДПДЗ**

Діагностика датчика положення дросельної заслінки (ДПДЗ) потенціометричного типу полягає в перевірці відповідності вихідної напруги датчика фактичному стану дросельної заслінки у всьому діапазоні її можливих положень. Для зняття осцилограми напруги вихідного сигналу ДПДЗ, роз'єм осцилографічного щупа повинен бути підключений до будь-якого з аналогових входів осцилографа або мотортестера, чорний затискач типу "крокодил" осцилографічного щупа повинен бути приєднаний до "маси"

двигуна автомобіля, що діагностується, а червоний затискач типу "крокодил" осцилографічного щупа повинен бути приєднаний до сигнального виходу ДПДЗ рис. 2.7.

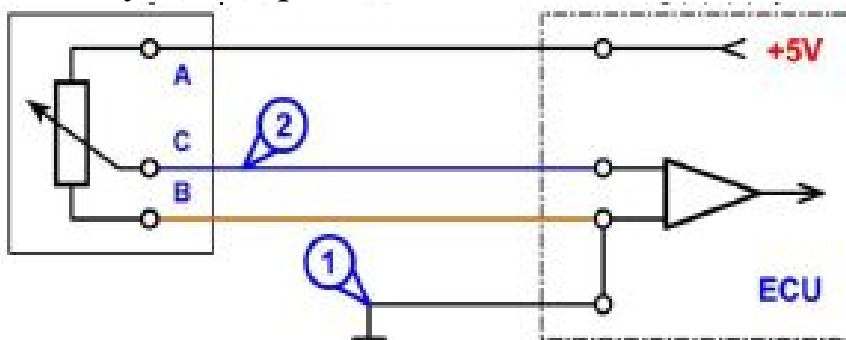


Рисунок 2.7 – Схема підключення до датчика положення дросельної заслінки потенціометричного типу

На рис. 2.7 прийняті наступні позначення: 1 – точка підключення до «маси» автомобіля (чорний затискач типу "крокодил" осцилографічного щупа); 2 – точка підключення до вихідної напруги ДПДЗ (червоний затискача типу "крокодил" осцилографічного щупа).

Перевірка ДПДЗ проводиться при включеному запалюванні і зупиненому двигуні. Для отримання коректної осцилограми напруги вихідного сигналу ДПДЗ необхідно якомога більш плавно відкрити дросельну заслінку до її повного відкриття, після чого так само плавно її закрити.

При закритій дросельній заслонці, значення напруги вихідного сигналу ДПДЗ повинно знаходитися в певному діапазоні, найчастіше це від 0,25В до 0,75 В. Як тільки дросельна заслонка починає плавно відкриватися, значення напруги вихідного сигналу датчика так само має плавно збільшуватися синхронно збільшенню куту відкриття дросельної заслонки рис. 2.8.

Коли дросельна заслінка відкрита повністю, значення напруги вихідного сигналу датчика має перебувати в діапазоні зазвичай це 3,9 - 4,7 В.

В деяких системах управління двигуном застосовуються датчики положення дросельної заслінки потенціометричного типу з інверсною вихідною характеристикою. При закритій дросельній заслінці вихідна напруга датчика висока, а при відкритій – низька.

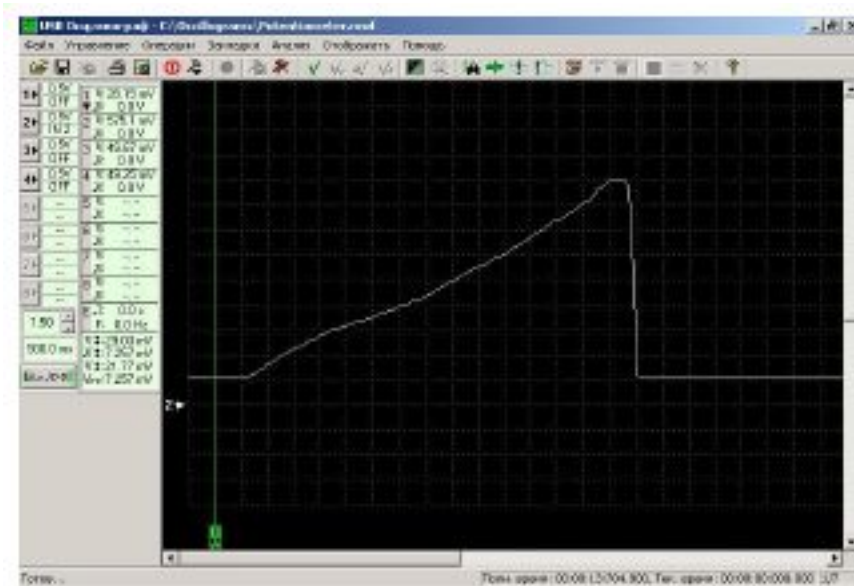


Рисунок 2.8 – Осцилограма напруги вихідного сигналу справного датчика положення дросельної заслонки. Запалювання включено, двигун зупинений, плавне відкриття дросельної заслонки і швидке її закриття

У багатьох системах управління двигуном, де стан дросельної заслонки задається за допомогою електроприводу (у всьому діапазоні можливих положень, або тільки в режимі холостого ходу), поточний стан дросельної заслонки визначається за допомогою відразу двох потенціометрів, конструктивно об'єднаних. Один з потенціометрів має пряму вихідну характеристику, а інший потенціометр зазвичай має інверсну вихідну характеристику (рис. 2.9).

Крім того, багато вузлів дросельних заслінок з вбудованим електроприводом часто додатково оснащені кінцевим мікровимикачем холостого ходу, що спрацьовує тоді, коли педаль акселератора відпущена водієм повністю.

Осцилограма на рис. 2.9 отримана у відповідності із наступним алгоритмом: запалювання ввімкнуте, двигун зупинений, виконано плавне відкриття дросельної заслонки – утримання деякий час дросельної заслінки у відкритому стані – плавне закриття дросельної заслінки. На рис. 2.9 прийняті наступні позначення: 1 – осцилограма напруги вихідного сигналу потенціометра, що має інверсну вихідну характеристику; 2 – осцилограма напруги вихідного сигналу потенціометра, що має пряму вихідну характеристику; 1А: – значення напруги в момент часу вказаний маркером.

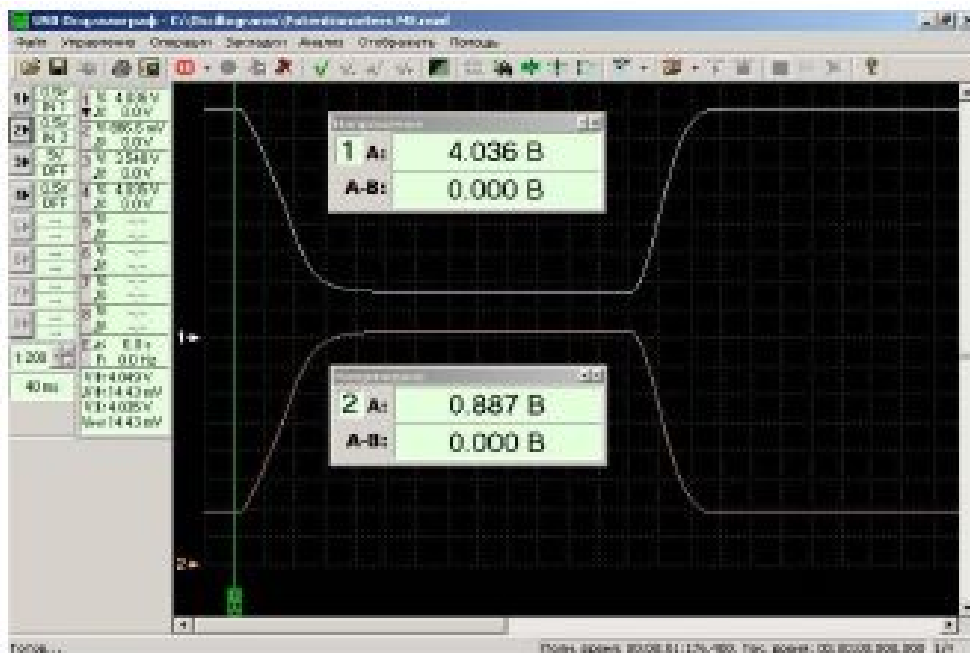


Рисунок 2.9 – Осцилограми напруги вихідних сигналів справного спареного датчика положення дросельної заслінки системи управління двигуном з електронним приводом дросельної заслінки

В даному випадку відповідає напрузі вихідного сигналу потенціометра, що має інверсну вихідну характеристику при закритій дросельній заслонці і дорівнює 4,036 В; 2А: – значення напруги в момент часу вказаний маркером. В даному випадку відповідає напрузі вихідного сигналу потенціометра, що має пряму вихідну характеристику при закритій дросельній заслонці і дорівнює 0,887 В.

Наявність двох потенціометрів в датчику положення дросельної заслонки служить для підвищення точності вимірювання поточного положення дросельної заслінки, для точного розпізнавання блоком управління несправностей датчика, а так само для підвищення надійності вузла дросельної заслонки – при виході з ладу одного з потенціометрів блок керування двигуном визначає поточний стан дросельної заслінки по сигналу від справного потенціометра.

Зустрічаються спарені потенціометричні датчики положення дросельної заслінки, де обидва потенціометра мають пряму вихідну характеристику. Вихідний сигнал одного потенціометра змінюється в

діапазоні положень дросельної заслінки від "повністю закрито", до "частково відкрито" (для системи управління двигуном BOSCH MONO Motronic цей діапазон становить від 0% до 30%). Вихідний сигнал іншого потенціометра змінюється в діапазоні положень дросельної заслінки від "частково відкрито" до "повністю відкрито" (для системи управління двигуном BOSCH MONO Motronic цей діапазон становить від 17% до 100%) рис 2.10.

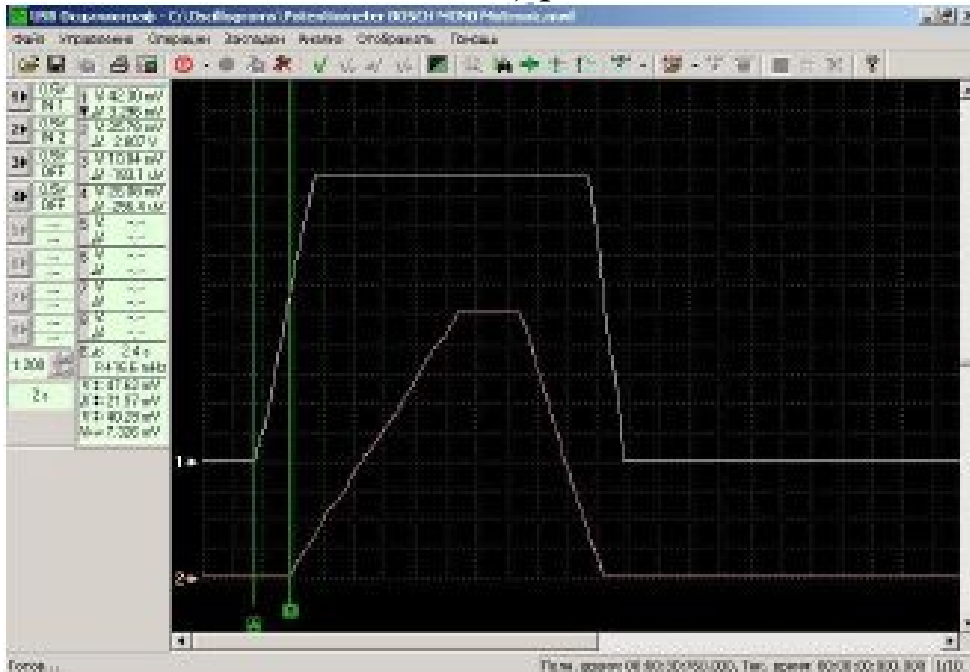


Рисунок 2.10 – Осцилограми напруги вихідних сигналів справного здвоєного датчика положення дросельної заслінки системи управління двигуном BOSCH MONO Motronic

Осцилограма на рис. 2.10 отримана у відповідності із наступним алгоритмом: запалювання ввімкнуте, двигун зупинений, виконано відкриття дросельної заслінки – утримання деякий час дросельної заслінки у відкритому стані – закриття дросельної заслінки. На рис.2.10 прийняті наступні позначення: 1 – осцилограма напруги вихідного сигналу потенціометра, що працює в діапазоні положень дросельної заслінки від "повністю закрито" до "частково відкрито"; 2 – осцилограма напруги вихідного сигналу потенціометра, що працює в діапазоні положень дросельної заслінки від "частково відкрито" до "повністю відкритого".

Така конструкція датчика застосовується для підвищення точності вимірювання поточного положення дросельної заслінки при малих кутах її відкриття. Висока точність вимірювання поточного

положення дросельної заслінки в системі управління двигуном BOSCH MONO Motronic дуже важлива, так як дана система не оснащена ні датчиком абсолютного тиску у впускному колекторі, ні датчиком витрати повітря. Тому величина навантаження на двигун і відповідна їй необхідна кількість палива, що впорскується визначаються за швидкістю обертання колінчастого валу, за величиною відкриття дросельної заслінки, по температурі двигуна і по температурі вхідного повітря.

#### **2.4 Датчик крайніх положень дросельної заслінки (Throttle Valve Switch)**

В деяких системах управління двигуном, більш ранніх років, застосовувалися датчики крайніх положень дросельної заслінки на основі кінцевих мікрвимикачів. Мікрвимикач "холостого ходу" і мікрвимикач "повного навантаження" (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Датчик крайніх положень дросельної заслінки, вимірювальними елементами якого є два мікрвимикача

Кожен з кінцевих мікрвимикачів може приймати одне з двох його можливих станів – "замкнутий" або "розімкнутий". Залежно від поточного стану мікрвимикача, напруга його вихідного сигналу може приймати значення відповідне або низькому рівню сигналу (зазвичай це значення дорівнює 0 В), або відповідне високому рівню сигналу (зазвичай це значення дорівнює 5 В, або 12 В).

Внаслідок порівняно швидкого механічного зносу, мікрвимикачі датчика з часом можуть перестати спрацьовувати, особливо часто дана несправність трапляється з мікрвимикачами холостого ходу. Для усунення цього дефекту досить періодично знову відрегулювати положення корпусу датчика щодо корпусу дросельної заслінки так, щоб мікрвимикач холостого ходу змінював свій стан відразу ж після початку відкриття дросельної заслінки.

Ще однією розповсюдженою несправністю кінцевих мікрвимикачів датчиків положення деяких типів є утворення мікротріщин в області спайки вихідних клем вимикача з роз'ємом датчика. Ця несправність виникає на автомобілях із значним пробігом, внаслідок впливу механічних навантажень в області спайки клем вимикача з роз'ємом датчика. Якщо конструкція датчика дозволяє його розібрати і повторно зібрати, цю несправність можна усунути, не прибігаючи до заміни датчика. Досить повторно пропаяти за допомогою паяльника вихідні клеми мікрвимикача в області спаювання з роз'ємом датчика.

Перевірка справності кінцевого мікрвимикача проводиться шляхом вимірювання опору датчика за допомогою омметра. Опір розімкнутого мікрвимикача повинен наближатися до нескінченності. Коли мікрвимикач замкнутий, його опір не повинний перевищувати значення 1 Ом. При цьому додатково слід звернути увагу на стабільність опору мікрвимикача в стані "замкнутий" при декількох його спрацьовуваннях. Після кожного перемикання вимикача в стан "замкнутий" омметр повинен показувати одне і те ж значення опору датчика з відхиленнями не більше 0,1 Ом. Якщо значення опору мікрвимикача змінюються в стані "замкнутий" це може бути ознакою утворення мікротріщин в області спаювання вихідних клем вимикача з роз'ємом датчика, або ознакою підгоряння контактів датчика.

Існують датчики крайніх положень дросельної заслонки, які виконані за технологією, аналогічною технології виготовлення потенціометричних датчиків положення дросельної заслінки – на основі резистивного шару. Опір такого датчика при його стані "замкнуто" може приймати значення від 0,1 Ом до 10 кОм і більше.

Подібні датчики часто бувають конструктивно об'єднані в загальному корпусі з датчиком положення дросельної заслонки потенціометричного типу (рис.2.12).



Рисунок 2.12 – Датчик положення дросельної заслінки потенціометричного типу з вбудованим датчиком кінцевого положення, що спрацьовує в положенні заслінки "повністю закрито"

Подібні датчики мають зазвичай 4-х контактний роз'єм. Три клеми роз'єму з'єднані з датчиком положення дросельної заслінки потенціометричного типу, четверта клема роз'єму з'єднується з контактом датчика кінцевого положення дросельної заслінки. Інший контакт датчика кінцевого положення дросельної заслінки з'єднаний з однією з клем живлення (+ або -) датчика, зазвичай з контактом "маси" датчика.

## 2.5 Типові несправності потенціометричних датчиків положення

Рухомий контакт потенціометричного датчика механічно переміщується по контактному резистивному шару датчика, що з часом може стати причиною руйнування цього контактного резистивного шару. В такому випадку, при деяких положеннях рухомого контакту датчика, значення вихідної напруги датчика може не відповідати фактичному стану дросельної заслінки (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Доріжка потенціометра з "протертим" контактним резистивним шаром

Як тільки водій встановлює таке положення дросельної заслінки, при якому повзунок потенціометра датчика заслінки потрапляє на ділянку зі зруйнованим контактним резистивним шаром, виникають різкі ривки в роботі двигуна. ЕБК сприймає зміни напруги на дефектній ділянці як сигнал режиму швидкого розгону двигуна, або режиму відсічки подачі палива (рис. 2.14).

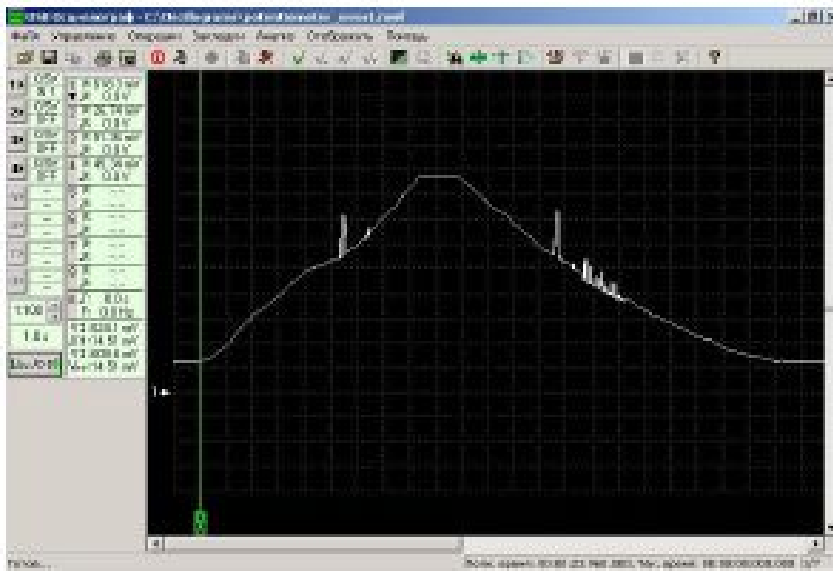


Рисунок 2.14 – Осцилограма напруги вихідного сигналу несправного датчика положення дросельної заслінки. Запалювання включено, двигун зупинений, плавне відкриття та закриття дросельної заслінки

Характер впливу несправності на роботу системи керування двигуном залежить від того, на яких режимах роботи двигуна, і при яких кутах відкриття дросельної заслінки проявляється несправність. Якщо показання датчика порушуються при закритій дросельній заслінці, то це призводить до нестабільності обертів холостого ходу – після відпускання педалі акселератора двигун може заглухнути, або навпаки, оберти холостого ходу можуть бути сильно завищеними.

Якщо ж показання датчика порушуються при будь-якому іншому положенні дросельної заслінки, це викликає виникнення різких ривків в роботі двигуна в моменти, коли дросельна заслінка приймає положення, при яких проявляється невідповідність вихідного сигналу датчика фактичному стану заслінки.

В більшості випадків, невідповідність вихідного сигналу ДПДЗ фактичному куту відкриття дросельної заслінки має місце при положенні дросельної заслінки "повністю закрито" і "частково відкрито", внаслідок чого порушується робота двигуна на режимі холостого ходу.

В випадку пошкодження контактного резистивного шару датчика у всьому діапазоні положень дросельної заслінки, характер роботи двигуна стає непередбачуваним (рис. 2.15).

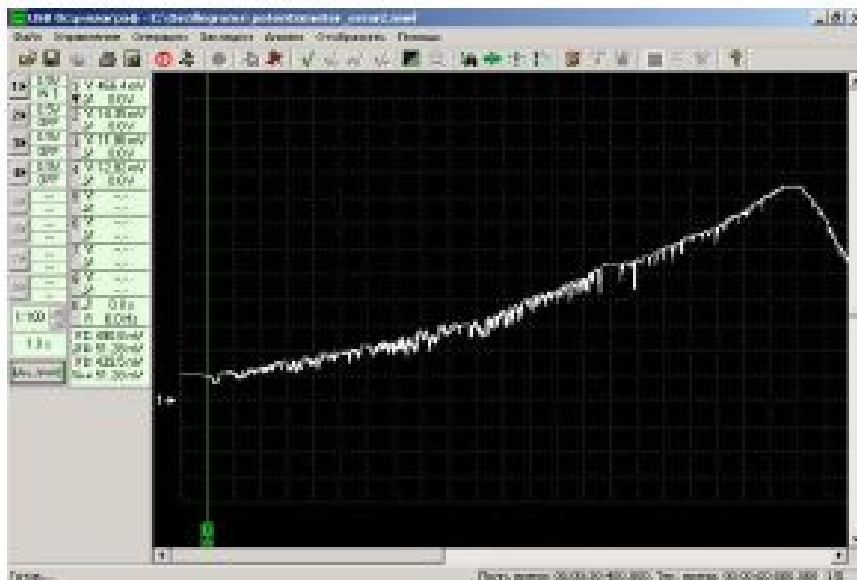


Рисунок 2.15 – Осцилограма напруги вихідного сигналу несправного датчика положення дросельної заслінки. Запалювання ввімкнено, двигун зупинений, плавне відкриття дросельної заслінки

Несправності датчика, які викликані руйнуванням контактного резистивного шару датчика, усуваються шляхом заміни датчика положення дросельної заслінки на новий.

Іншою типовою несправністю датчика є підвищена залежність вихідної напруги датчика від температури його корпусу. Дана несправність є наслідком установки неякісного датчика положення дросельної заслінки на етапі заміни зношеного датчика на новий або ще на етапі виробництва автомобіля. Проявляється дана несправність після прогріву двигуна при повністю закритій дросельній заслінці і виглядає як підвищення частоти обертання двигуна на холостому ході.

Характерною ознакою несправності є можливість тимчасового її

усунення шляхом вимкнення і повторного пуску двигуна. У момент включення запалювання, блок керування двигуном фіксує ("запам'ятовує") поточне значення вихідної напруги датчика положення дросельної заслінки і приймає його за напругу, що відповідає повністю закритій заслонці. Після запуску двигуна це значення напруги служить для блоку управління двигуном ознакою закритої дросельної заслінки, коли водій повністю відпускає педаль акселератора. При співпадінні вихідної напруги датчика зі значенням, зафіксованим під час включення запалювання, блок керування двигуном переходить в режим стабілізації частоти обертання двигуна на холостому ході.

Якщо температурна стабільність датчика незадовільна, може виникнути збій в роботі двигуна на холостому ході. Наприклад, в момент включення запалювання, коли двигун холодний (корпус датчика положення дросельної заслінки холодний) значення вихідної напруги розглянутого датчика дорівнює 500 мВ. ЕБК фіксує це значення як таке, що відповідає повністю закритій дросельній заслінці. У моменти, коли вихідна напруга датчика знову співпадає з цим зафіксованим значенням 500 мВ, двигун переходить в режим стабілізації обертів холостого ходу. По мірі прогрівання двигуна прогрівається і корпус датчика, і якщо зі збільшенням температури корпусу датчика його вихідна напруга так само збільшується, то може наступити момент, коли при закритій дросельній заслонці напруга вихідного сигналу буде значно перевищувати зафіксоване при включенні запалювання значення, і буде наприклад: 550 мВ. В такому випадку, коли водій повністю відпускає педаль акселератора, від датчика буде надходити напруга 550 мВ замість 500 мВ, що вже не буде відповідати сигналу повністю закритої дросельної заслінки.

Внаслідок цього, ЕБК вже не буде переходити в режим стабілізації обертів холостого ходу.

Якщо ж тепер водій вимкне запалювання, після чого знову запусить двигун, ЕБК зафіксує нове поточне значення напруги датчика положення дросельної заслінки 550 мВ з уже розігрітим корпусом і прийме його за напругу, що відповідає повністю закритій дросельній заслонці. Тепер, робота двигуна при закритій дросельній заслінці буде стабільна, поки температура корпусу датчика положення дросельної заслінки знову не зміниться.

Діагностика даної несправності зводиться до порівняння двох значень вихідної напруги датчика при повністю закритій дросельній заслінці. Перше значення необхідно виміряти, коли температура корпусу датчика близька до поточного значення температури повітря (двигун не працював протягом мінімум 3-х годин). Друге значення необхідно виміряти, коли двигун буде повністю прогрітий до робочої температури (електровентилятор системи охолодження автоматично включиться не менше трьох разів). Дана несправність усувається тільки шляхом заміни неякісного датчика на якісний.

В деяких системах керування двигуном замість датчиків положення потенціометричного типу застосовуються оптичні датчики положення. Типовою несправністю цих датчиків є проникнення і накопичення забруднень у порожнинах, де розташовані оптичні елементи і на самих оптичних елементах. Усувається дана несправність шляхом очищення від забруднень, але тільки в тих випадках, якщо конструкція датчика дозволяє його розібрати і повторно зібрати.

Останнім часом, в деяких системах керування двигуном замість датчиків положення потенціометричного типу застосовуються безконтактні "лінійні" датчики, що працюють на ефекті Холла. Ці датчики позбавлені недоліків резистивного шару, але при цьому мають свої типові несправності. Найбільш поширеним дефектом датчика положення дросельної заслінки на ефекті Холла є зони з нелінійною залежністю зміни вихідної напруги датчика. На осцилограмі напруги вихідного сигналу при плавному відкритті дросельної заслінки дана несправність проявляється як "г-подібна сходинка" (рис. 2.16).

Така "сходинка" може перекривати значний діапазон можливих положень дросельної заслінки. При плавній зміні положення дросельної заслінки всередині такого діапазону значення напруги вихідного сигналу датчика не змінюються. Подібних сходинок на всьому діапазоні можливих положень дросельної заслінки може бути декілька.

Усувається дана несправність тільки шляхом заміни датчика на справний.

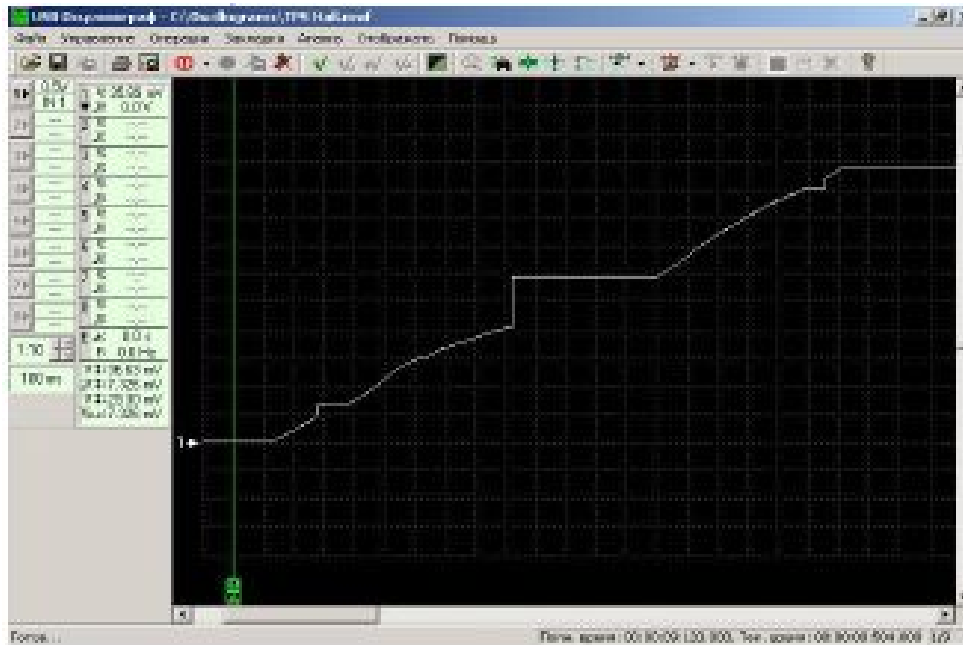


Рисунок 2.16 – Осцилограма напруги вихідного сигналу несправного датчика положення дросельної заслонки, який працює на ефекті Холла

## 2.6 Контрольні питання

1. Які елементи системи управління двигуном потребують постійного контролю з високою точністю?
2. З якою метою автовиробники стали відмовлятися від жорсткого механічного зв'язку між дросельною заслінкою і педаллю акселератора?
3. З яких міркувань використовують по два потенціометра в ДПДЗ або в датчику акселератора?
4. Опишіть конструкцію та принцип роботи ДПДЗ потенціометричного типу?
5. Опишіть конструкцію та принцип роботи ДПДЗ на ефекті Холла?
6. Як веде себе ЕБК двигуна в залежності від положення ДПДЗ?
7. Як підключитися до ДПДЗ для діагностики його технічного стану?
8. Як правильно виконувати діагностику ДПДЗ і які значення при цьому повинні бути?
9. Чому в багатьох системах управління двигуном поточний стан дросельної заслонки визначається за допомогою відразу двох потенціометрів які конструктивно об'єднані?
10. Який принцип роботи ДПДЗ системи управління двигуном

## BOSCH MONO Motronic?

11. Для чого використовуються датчики крайніх положень дросельної заслінки, який принцип їх роботи?
12. Які несправності характерні для мікрровимикачів?
13. Як перевірити справність кінцевого мікрровимикача?
14. Які ознаки несправності потенціометричного датчика ДПДЗ в наслідок руйнування його контактного резистивного шару?
15. Які ознаки несправності потенціометричного датчика ДПДЗ в наслідок підвищеної залежності вихідної напруги датчика від температури його корпусу?
16. Які несправності характерні для безконтактних "лінійних" ДПДЗ?

### 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДАТЧИК АБСОЛЮТНОГО ТИСКУ У ВПУСКНОМУ КОЛЕКТОРІ

#### Мета роботи:

- розглянути призначення датчика абсолютного тиску у впускному колекторі;
- розглянути принцип роботи датчика абсолютного тиску у впускному колекторі;
- розглянути типові несправності датчика абсолютного тиску у впускному колекторі;
- розглянути принципи перевірки технічного стану датчика абсолютного тиску у впускному колекторі.

#### 3.1 Загальні теоретичні відомості

Майже всі системи управління двигуном, в яких не застосовується датчик витрати повітря, обладнані *датчиком абсолютного тиску у впускному колекторі (датчик розрідження)* – Manifold Absolute Pressure sensor (Map-sensor) рисунок 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд датчиків абсолютного тиску

У таких системах, на основі тиску і температури повітря в впускному колекторі, електронний блок керування (ЕБК) обчислює масу повітря, що міститься в кожному кубічному сантиметрі внутрішнього об'єму впускного колектора. На кожному такті впуску циліндр «всмоктує» повітря з впускного колектора, об'єм якого приблизно рівний внутрішньому об'єму циліндра двигуна. Знаючи внутрішній об'єм циліндра двигуна (в см<sup>3</sup>) і

попередньо розрахувавши щільність повітря, що поглинається циліндром (в  $\text{г/см}^3$ ), ЕБК обчислює масу повітря (в грамах), що потрапляє в циліндр під час такту впуск. У відповідності до розрахованої маси повітря, що споживає двигун, ЕБК формує імпульси керування паливними форсунками відповідної тривалості, тим самим досягаючи приготування паливно-повітряної суміші із складом близьким до заданого.

Точність розрахунку маси повітря, що споживається двигуном по його тиску і температурі невисока, так як об'єм споживаного повітря залежить значною мірою від стану циліндро - поршневої групи і газорозподільного механізму. Тому в таких системах управління двигуном для забезпечення підготовки паливно-повітряної суміші з точно заданим складом, дуже важливим фактором є правильне функціонування датчика кисню.

На багатьох автомобілях, датчик абсолютного тиску (ДАТ) кріпиться до кузова автомобіля в моторному відсіку, а його вхідний штуцер приєднано до внутрішнього об'єму впускного колектора за допомогою гнучкого трубопроводу.

Незалежно від наявності в системі керування двигуном датчика витрати повітря, на двигунах які оснащені турбонаддувом і/або компресором датчик абсолютного тиску в впускному колекторі (датчик тиску/розрідження) застосовується завжди. Тут, серед іншого, показання датчиків використовуються для вимірювання і регулювання кількості надлишкового тиску, яке накачується турбокомпресором і/або механічним компресором. Такий датчик зазвичай кріпиться безпосередньо до впускного колектору. В корпус такого датчика часто вбудовується датчик температури повітря во впускному колекторі.

Датчики тиску можуть бути встановлені на автомобілі для вимірювання тиску в паливному баку, тиску в системі EGR, тиску у системи кондиціонування повітря в салоні, в гальмівній системі, в автомобільних шинах.

### **3.2 Принцип дії датчика**

Більшість автомобільних датчиків тиску перетворюють значення тиску на вхідному штуцері датчика у відповідну йому величину вихідної напруги. Зустрічаються датчики, де в залежності від вхідного тиску, змінюється частота вихідної змінної

напруги (наприклад, датчик абсолютного тиску в впускному колектор виробництва FORD).

В якості датчиків тиску у впускному колекторі використовуються датчики абсолютного тиску (ДАТ). Всередині ДАТ є вакуумна камера, з якої на етапі виготовлення датчика було відкачане повітря (рис. 3.2).

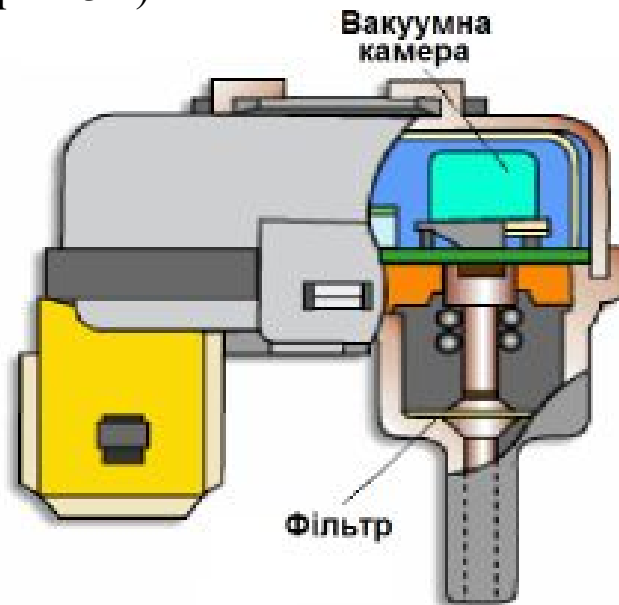


Рисунок 3.2 – Датчик абсолютного тиску

Такий датчик «порівнює» тиск на вхідному штуцері з тиском в вакуумній камері – від цієї різниці тисків і залежить вихідний сигнал датчика.

Датчик тиску складається з чутливого елемента і гібридної інтегральної схеми, яка підсилює сигнал чутливого елемента.

Чутливий елемент являє собою кремнієву діафрагму, принцип роботи якої заснований на п'єзорезистивному ефекті. П'єзорезистивний ефект полягає у зміні електричного опору напівпровідника при зміні просторової структури його кристала внаслідок деформації.

Зазвичай при зменшенні величини абсолютного тиску в впускному колекторі (тобто із збільшенням величини розрідження у впускному колекторі) вихідна напруга датчика зменшується. Але зустрічаються датчики, де залежність вихідної напруги від вхідного тиску оберненопропорційна.

В якості датчиків атмосферного тиску використовуються датчики абсолютного тиску. Датчик атмосферного тиску може бути виконаний як окремий елемент системи керування двигуном,

або може бути розташований безпосередньо всередині корпуса блоку керування двигуном.

На деяких транспортних засобах використовують датчик тиску палива в паливній рейці.

### 3.3 Типові несправності датчика абсолютного тиску у впускному колекторі

Залежно від конструкції системи управління двигуном (наявності або відсутності датчика витрати повітря), несправності в роботі датчика можуть призвести як до переходу ЕБК в аварійний режим, так і навіть до неможливості запуску і роботи двигуна.

Датчики тиску, що використовуються в сучасних системах управління двигуном, дуже надійні. У більшості випадків причиною неправильної роботи датчика абсолютного тиску в впускному колекторі є несправність з'єднання вхідного штуцера датчика з внутрішнім об'ємом впускного колектора. Часто з'єднуючий гнучкий трубопровід рветься, рідше "закоксовується" (або сам трубопровід, або штуцер в впускному колекторі). Тому при перевірці датчика абсолютного тиску в впускному колекторі, необхідно обов'язково перевірити справність трубопроводу.

Необхідність заміни датчика іноді виникає через несправність датчика температури повітря, який може бути конструктивно об'єднаний з датчиком абсолютного тиску у впускному колекторі.

Однак, є також випадки виходу з ладу самого датчика абсолютного тиску.

При перевірці вихідної напруг ДАТ виконують підключення до нього мультиметра або осцилографа у відповідності до схеми наведеної на рис. 3.3.

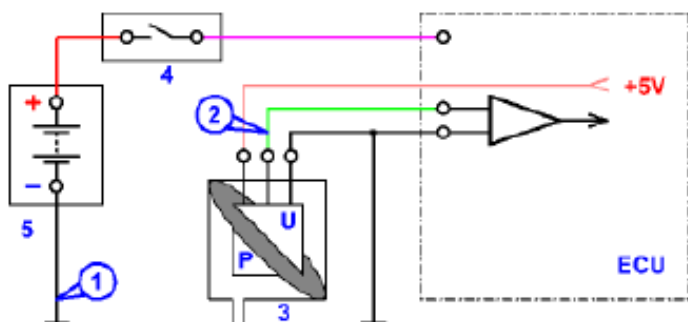


Рисунок 3.3 – Схема підключення для перевірки датчика абсолютного тиску

На рис. 3.3 прийняті наступні позначення:

ECU – електронний блок керування (ЕБК) двигуном;

1 – точка під'єднання «мінусового» роз'єму осцилографічного щупа;

2 – точка під'єднання «плюсового» (сигнального) роз'єму осцилографічного щупа для отримання осцилограми вихідної напруги датчика;

3 – датчик абсолютного тиску;

4 – вимикач запалювання;

5 – акумуляторна батарея.

При вимірюванні вихідної напруги ДАД необхідно забезпечити постачання до штуцера датчика різних значень тиску/розрідження в допустимих для даного датчика межах, прийнятних для датчика (шляхом пуску двигуна, якщо це можливо, або іншими допоміжними засобами), контролюючи при цьому вихідний сигнал датчика (рис. 3.4).

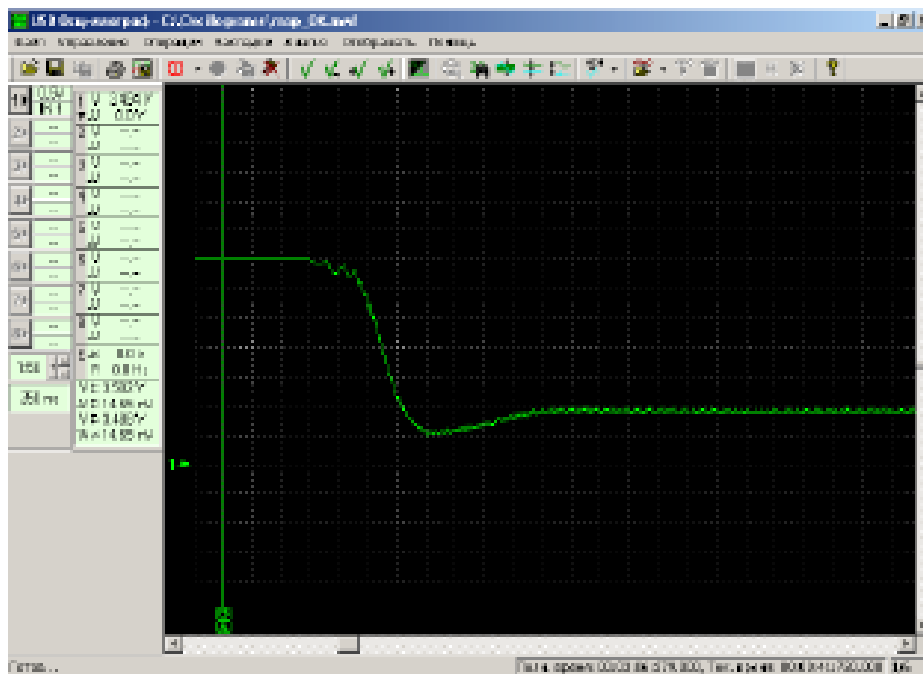


Рисунок 3.4 – Осцилограма вихідної напруги справного датчика абсолютного тиску у впускному колекторі. Запуск двигуна і робота на холостому ходу без навантаження

Вихідна напруга датчика змінюється пропорційно до величини тиску в впускному колекторі. В даному випадку із збільшенням розрідження у впускному колекторі вихідна напруга зменшується.

Характеристика датчика абсолютного тиску у впускному колекторі виробництва FORD має наступну залежність (рис. 3.5):

- при включеному запалюванні і зупиненому двигуні (розрідження у впускному колекторі при цьому відсутнє) частота вихідної напруги датчика становить близько 160 Гц;
- при роботі прогрітого до робочої температури двигуна на холостому ходу без навантаження (величина розрідження у впускному колекторі становить близько 0,65 бар), частота вихідної напруги датчика становить близько 105 Гц;
- при збільшеній обертів колінчастого вала двигуна на холостому ходу до 3000 об./хв. (величина розрідження у впускному колекторі становить близько 0,7 бар), частота вихідної напруги датчика становить близько 100 Гц.

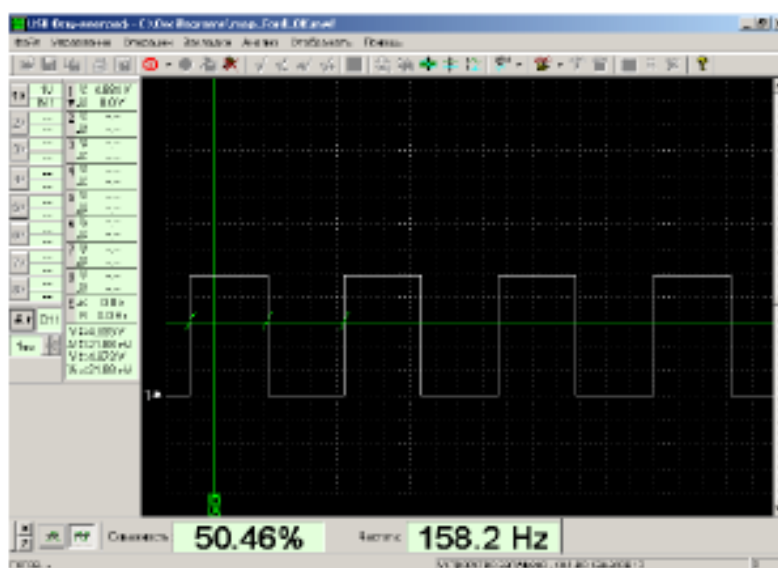


Рисунок 3.5 – Осцилограма вихідної напруги справного датчика абсолютного тиску в впускному колекторі виробництва FORD. Запалювання ввімкнуте, двигун зупинено

### 3.4 Диференціальний датчик тиску

У деяких системах управління двигуном, для вимірювання величини витрачених системою EGR (Exhaust Gas Recirculation) відпрацьованих газів, застосовується *диференційний датчик тиску* (ДДТ). ДДТ відрізняється від абсолютного датчика тиску

наявністю двох штуцерів – внутрішня камера датчика не герметизована і з'єднується з додатковим, другим штуцером. За рахунок цього, ДДТ порівнює між собою тиску на вхідних штуцерах при цьому вихідний сигнал датчика пропорційний цій різниці тисків.

Система EGR служить для зменшення кількості шкідливих викидів двигуна в атмосферу, а саме оксидів азоту. Система EGR підводить частину відпрацьованих газів до впускного колектора, тим самим розмішуючи паливо-повітряну суміш відпрацьованими газами. За рахунок цього зменшується температура згоряння паливо-повітряної суміші і як наслідок, зменшується кількість викидів оксидів азоту в атмосферу.

Вимірювання величини потоку відпрацьованих газів від клапана EGR до впускного колектора за допомогою ДДТ здійснюється наступним чином. У патрубку, що з'єднує вихід клапана EGR з впускним колектором, є каліброване звуження. Це звуження створює незначну перешкоду відпрацьованим газам які протікають по патрубку, внаслідок чого, тиск газів перед звуженням виявляється трохи вище тиску газів за звуженням.

Чим більше величина потоку відпрацьованих газів, що протікають через звуження, тим більша виникає різниця тисків газів перед звуженням і за ним. Вхідні штуцери ДДТ з'єднані з патрубком клапана EGR – один штуцер з'єднаний з порожниною до каліброваного звуження, а другий штуцер з'єднаний з порожниною за каліброваним звуженням. Зі збільшенням потоку відпрацьованих газів від клапана EGR до впускного колектора, збільшується різниця тисків які підводяться до вхідних штуцерів ДДТ, датчик перетворює цю різницю тисків в напругу. Таким чином, вихідна напруга ДДТ виявляється пропорційною величині потоку відпрацьованих газів від клапана EGR до впускного колектора двигуна.

### **3.5 Контрольні питання**

1. Який принцип роботи датчика абсолютного тиску у впускному колекторі?
2. За рахунок чого забезпечується точність приготування паливно-повітряної суміші в системах керування двигуном із датчиком абсолютного тиску у впускному колекторі?
3. Коли датчик абсолютного тиску у впускному колекторі

застосовується завжди?

4. Опишіть конструкцію та принцип роботи датчика абсолютного тиску.

5. Як несправність датчика абсолютного тиску вплине на роботу системи керування двигуном?

6. Які несправності притаманні сучасним датчикам абсолютного тиску?

7. Як провести перевірку датчика абсолютного тиску?

8. Наведіть характеристики датчика абсолютного тиску у впускному колекторі на прикладі датчика виробництва FORD.

9. Опишіть конструкцію та принцип роботи диференціального датчика тиску.

10. Яке призначення системи EGR?

11. Опишіть принцип роботи диференціального датчика тиску в системі EGR.

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ДАТЧИКИ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ

### Мета роботи:

- розглянути призначення датчиків витрати повітря;
- розглянути принцип роботи датчиків об'ємної витрати повітря;
- розглянути принцип роботи датчиків масової витрати повітря;
- розглянути принципи перевірки технічного стану плівкових датчиків масової витрати повітря.

### 4.1 Загальні теоретичні відомості

*Датчик витрати повітря* (Air Flow Sensors) слугує для вимірювання кількості (об'єму або маси) споживаного двигуном повітря. Значення маси повітря що надходить, вимірює безпосередньо датчиком або розраховане блоком керування двигуном за його об'ємом, є одним з базових параметрів у визначенні тривалості відкриття паливних форсунок. Датчик витрати повітря встановлюється після повітряного фільтра перед дросельною заслонкою. З боку вхідної частини корпусу датчика витрат повітря розташована сітка яка вирівнює потік повітря по всій площі витратоміра.

Існують різні конструкції датчиків витрати повітря, але кожен з них можна віднести до одного з двох типів:

1. *датчики об'ємної витрати повітря* – ДОВП;
2. *датчики масової витрати повітря* – ДМВП.

Датчики масової витрати повітря (ДМВП) більш кращі, так як вимірюють безпосередньо масову витрату повітря (ДМВП враховує температуру і тиск атмосферного повітря), за рахунок чого блок управління двигуном може більш точно розраховувати необхідну кількість впорскуваного палива. Крім того, конструкція ДМВП не має рухомих механічних частин. Але через більш складну конструкцію ДМВП, у ранніх системах управління двигунами застосовувалися в основному датчики об'ємної витрати повітря.

Датчики об'ємної витрати повітря (ДОВП) гірші в використанні, так як вимірюють тільки об'єм повітря, що протікає. Як відомо маса повітря (як і будь-яких інших газів), яке

заповнює наприклад об'єм рівний одному літру, дуже сильно залежить від його тиску і температури.

Тому ЕБК двигуном розраховує масову витрату повітря, додатково враховуючи атмосферний тиск і показання датчика температури повітря в впускному колекторі. Кожен з цих датчиків має свою похибку, в результаті чого розраховане значення масової витрати повітря може дещо відрізнятись від фактичної витрати. ЕБК розраховує за значенням маси повітря що надійшло у двигун значення маси палива яке необхідне для кожного циліндра. Слід зазначити, що всі витратоміри повітря визначають безперервну витрату, а паливо впорскується форсунками порціями, синхронно із тактами роботи циліндрів.

Вихідний сигнал датчика витрати повітря може бути аналоговим або цифровим. У першому випадку в залежності від витрати повітря змінюється напруга вихідного сигналу датчика, у другому випадку змінюється частота або скважність вихідного сигналу датчика. Наприклад, вихідний сигнал з деяких датчиків масової витрати повітря виробництва GM, MITSUBISHI представляє собою прямокутну напругу зі змінною частотою. Зі збільшенням потоку що протікає через датчик повітря, збільшується частота вихідного сигналу.

## **4.2 Датчик об'ємної витрати повітря (ДОВП)**

Більшість ДОВП працюють по одному з двох принципів:

1. використовується принцип підрахунку вихорів Кармана (деякі датчики виробництва MITSUBISHI, CHRISLER);
2. використовується принцип зміщення повзунка потенціометра за допомогою лопаті, розміщеною в потоці повітря яке витрачається двигуном.

Датчики витрат повітря що працюють за принципом підрахунку вихорів Кармана володіють високою надійністю, оскільки не мають рухомих механічних частин.

### **4.2.1 ДОВП які працюють за принципом підрахунку вихорів Кармана**

Вихровий датчик витрати повітря, використовує метод підрахунку вихорів Кармана, які утворюються в ламінарному

повітряному потоці, на шляху якого зустрічається перешкода з гострими краївками. Повітряні вихори зриваються з цих крайок з частотою, лінійно залежної від швидкості потоку (рис. 4.1, 4.2).

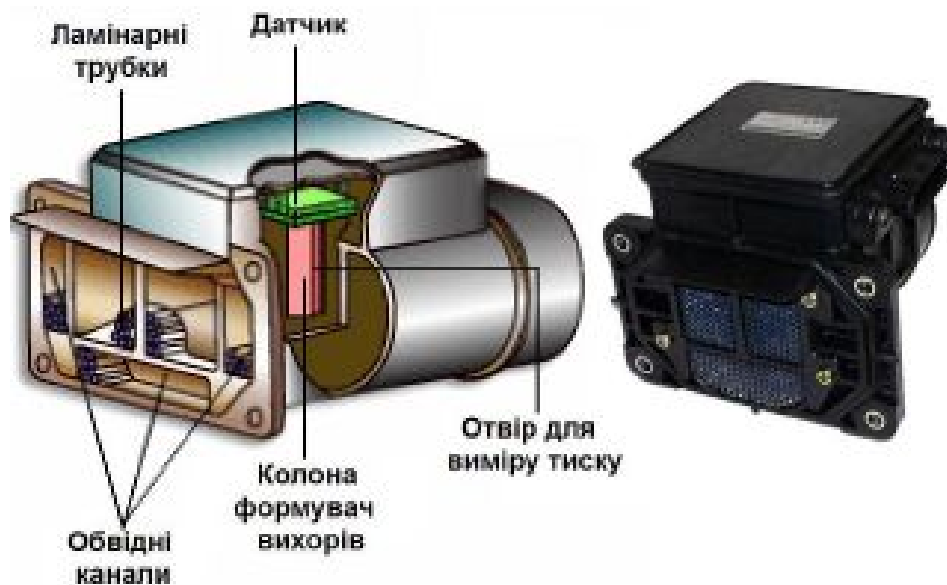


Рисунок 4.1 – Датчик витрати повітря виробництва MITSUBISHI, що працює на принципі підрахунку вихорів Кармана

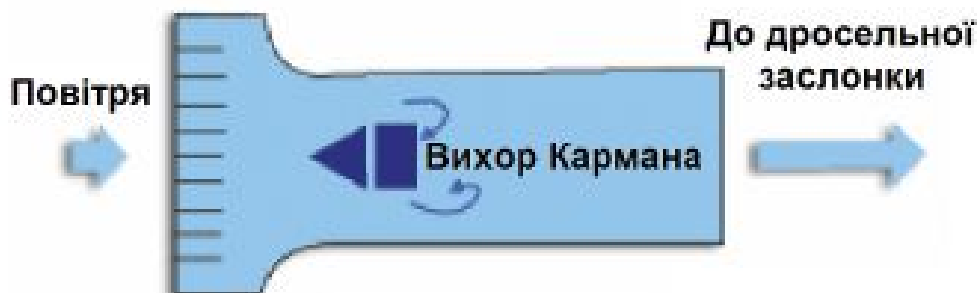


Рисунок 4.2 – Принципова схема роботи ДОВП який працює на принципі підрахунку вихорів Кармана

Коли колону-формував вихору обтікає ламінарний потік повітря, вихори формуються попеременно з двох сторін в нижній частині колони (рис. 4.2). Ці вихори називаються вихорами Кармана.

Частота, з якої формуються вихори Кармана, пропорційна величині витрати повітря. Таким чином, витрата повітря на вході в двигун може бути визначена підрахунком кількості вихорів Кармана.

Такий датчик працює тільки за умови, що в повітряному потоці виникає турбулентність. Турбулентність в свою чергу виникає тільки при достатній швидкості потоку повітря. Але при занадто високій швидкості потоку можуть виникати паразитні пульсації тиску. Тому,

деякі датчики даного типу оснащені додатковим входом для зміни чутливості вимірювального елемента, що необхідно при малій швидкості потоку повітря через повітрявимір, наприклад, при роботі двигуна в режимі холостого ходу.

Використовуються три способи підрахунку вихорів Кармана:

1. ультразвуковий;
2. за допомогою датчика тиску;
3. за допомогою елементів, що нагріваються (тонкого дроту або плівкових покриттів).

Перші вихрові датчики використовували ультразвуковий передавач і ультразвуковий приймач. Потім з'явилися датчики, що використовують метод вимірювання пульсацій тиску по краях крайок, де утворюються завихрення повітряного потоку. В сучасних вихрових датчиках витрати повітря, замість вимірювання тиску пульсацій використовується тонка нагріта нитка (дріт), за пульсацією температури якої і підраховуються вихори Кармана.

#### 4.2.1.1 ДОВП який працює на принципі підрахунку вихорів Кармана за допомогою датчика тиску

Якщо в область, яка розташована в потоці повітря за вихорутворюючим конусом, вивести канал для вимірювання тиску і встановити в цьому каналі датчик тиску, то при кожному проходженні вихору повз отвори вимірювального каналу датчик буде фіксувати зміну тиску. Частота зміни тиску буде пропорційна частоті утворення вихорів.

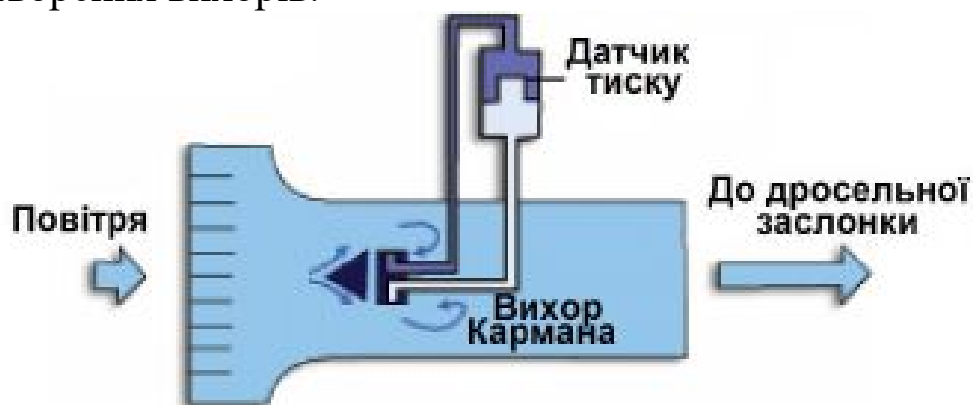


Рисунок 4.3 – Принципова схема роботи ДОВП який працює на принципі підрахунку вихорів Кармана за допомогою датчика тиску

Тобто, частота зміни сигналу датчика тиску буде пропорційна витраті повітря двигуном. Для визначення змін тиску, викликаних

утворенням вихорів Кармана, використовуються напівпровідникові датчики тиску (раніше для цього використовувалися ультразвукові датчики).

Датчик витрати повітря перетворює зміни тиску в сигнал прямокутної форми, пропорційний витраті повітря. Сигнал подається, в ЕБК.

#### 4.2.1.2 ДОВП, який працює на принципі підрахунку вихорів Кармана за допомогою елементів, що нагріваються

Даний тип датчика розглянемо на прикладі датчиків які застосовуються на автомобілях Mitsubishi Motors. В них датчик витрати повітря для визначення частоти утворення вихорів Кармана використовує провідник який нагрівається електричним струмом ("гарячий" дріт) рис. 4.4. ДОВП такого типу називається в компанії Mitsubishi – датчиком типу MUKAS (Mitsubishi Ultimate Karman Air Flow Sensor).



Рисунок 4.4 – Принципова схема роботи ДОВП який працює на принципі підрахунку вихорів Кармана за допомогою елементів, що нагріваються

У точці утворення вихорів Кармана розташовані два байпасних каналу, в кожному з яких встановлено дріт, що нагрівається електричним струмом. Зміна витрати повітря, що протікає через айпасні канали при проходженні вихорів Кармана призводить до зміни температури дроту, а отже і електричного опору дроту, який легко можна виміряти.

На вхід ЕБК з виходу датчика типу MUKAS надходить імпульсний сигнал, у якого змінюється частота пропорційно об'єму повітря, що проходить через витратомір.

#### 4.2.2 Датчик об'ємної витрати повітря, з механічним вимірювальним потенціометром

Датчики об'ємної витрати повітря що працюють за принципом зміщення повзунка потенціометра за допомогою вимірювальної лопаті володіють низькою надійністю, так як їх конструкція включає рухливі механічні елементи рис. 4.5.

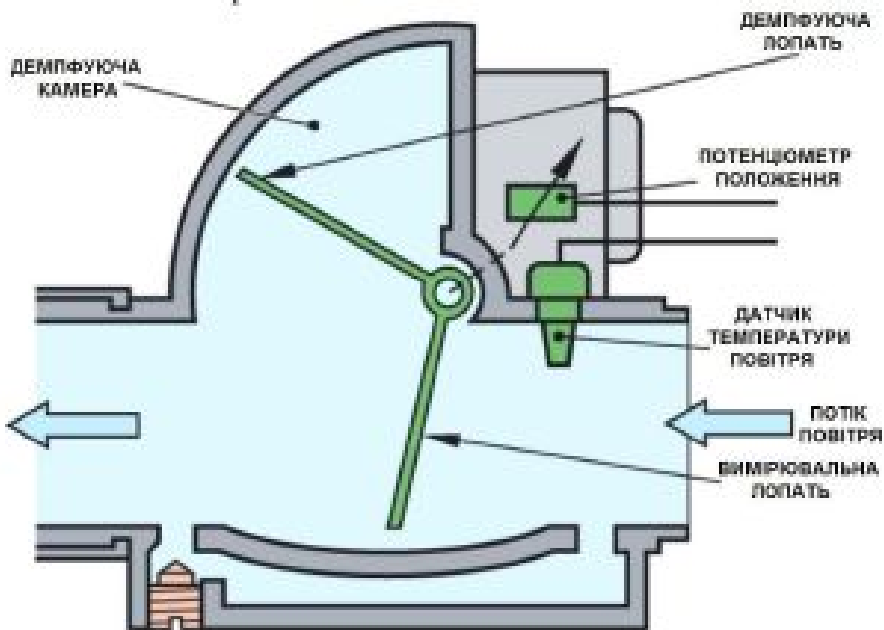


Рисунок 4.5 – Датчик об'ємної витрати повітря потенціометричного типу виробництва BOSCH

Лопать такого датчика підпружинена і розміщена в потоці повітря яке витрачається двигуном так, що зі збільшенням потоку повітря лопать зміщується пропорційно потоку. Потік повітря яке витрачається двигуном має пульсуючий характер і для зменшення ефекту пульсацій вимірювальної лопаті синхронно пульсаціям повітряного потоку, лопать датчика з'єднана із демпфуючою лопаттю.

З вимірювальною лопаттю механічно пов'язаний повзунок потенціометра, який за рахунок цього зміщується на величину, пропорційну величині потоку повітря. Мірою об'єму повітря, що протікає через датчик є вихідна напруга цього вимірювального потенціометра (рис. 4.5 та 4.6).



Рисунок 4.6 – Потенціометр датчика об'ємної витрати повітря виробництва BOSCH

Вимірювальний потенціометр датчика об'ємної витрати повітря виконано на керамічній підкладці (рис. 4.6). На підкладку нанесені резистори дільника напруги, контакти яких розміщені в ряд і покриті контактним резистивним шаром. Повзунок потенціометра притиснуто до контактного резистивного шару, завдяки чому напруга на повзунку дорівнює напрузі в точці контакту з резистивним шаром.

При кожній зміні положення лопаті, повзунок переміщується по контактному резистивному шару, ковзаючи по ньому. Такі переміщення повзунка поступово стирає контактний резистивний шар, що з плином часу призводить до виникнення "потертості" вимірювального потенціометра. При попаданні повзунка у зону "потертості", де контактний резистивний шар зношений аж до керамічної підкладки, електричний контакт між повзунком і резистивним шаром погіршується, внаслідок чого вихідна напруга потенціометра вже не відповідає положенню рухомої лопаті витратоміра – тобто, вихідна напруга датчика не відповідає величині повітря яке витрачається двигуном.

Типовою несправністю датчиків об'ємної витрати повітря які працюють за принципом зміщення повзунка потенціометра, є механічний знос резистивного шару. Так само часто зустрічається підклинювання лопаті датчика. Причинами підклинювання лопаті можуть бути знос опор лопаті, деформація (викривлення) лопаті через сильні хлопки у впускному колекторі або через забруднення повітряних каналів датчика.

Методика діагностування датчика об'ємної витрати повітря який працює за принципом зміщення повзунка потенціометра аналогічна до

методики діагностування потенціометричного датчика положення дросельною заслінки (або будь-якого іншого потенціометричного датчика положення).

### **4.3 Датчик масової витрати повітря - Mass Air Flow Sensor (MAF Sensor)**

Датчик масової витрати повітря (ДМВП) працює за принципом термоанемометричного ефекту. Він полягає в тому, що теплова енергія яка необхідна в одиницю часу для підтримки постійного перепаду температур між нагрівальним елементом і повітрям яке його обтікає, буде пропорційна масовій витраті повітря, що проходить через заданий перетин потоку.

Таким чином потік повітря, що протікає через витратомір охолоджує його вимірювальний елемент, але електрична схема (зазвичай, вбудована в витратомір) керує потужністю підігріву цього елемента та розігріває вимірювальний елемент до його колишньої температури. Чим більший потік повітря проходить через витратомір, тим більша потрібна потужність підігріву для підтримки заданої температури вимірювального елемента.

Таким чином, потужність підігріву вимірювального елемента витратоміра є мірою величини повітря, що протікає через датчик. Величина струму підігріву вимірювального елемента перетворюється у вихідний сигнал датчика (в більшості випадків у аналогову напругу), в деяких типах витратомірів в прямокутну (імпульсну) напругу зі змінною частотою.

Вимірювальним елементом датчика масової витрати повітря (ДМВП) є розігрітий до певної заданої температури дротяний або плівковий елемент. Таким чином в залежності від того який вимірювальний елемент використовується ДМВП буває двох типів:

1. дротяний ДМВП – Hot Wire MAF Sensor;
2. плівковий ДМВП – Hot film air flow sensor (meter) – HFM.

Слід зауважити, що похибка дротяних ДМВП близько  $\pm 1\%$ , в той час як у плівкових ДМВП даний параметр близько  $\pm 4\%$ . Тим не менше, більшість виробників перейшли на плівкові датчики. Це пояснюється як більш низькою вартістю масового їх виробництва, так і розширеним функціоналом ЕБК, що обробляють інформацію з даних пристроїв. Ці фактори відсунули на другий план точність приладів і їх швидкодію.

Також треба відзначити, що у нових моделях автомобілів конструктори вже відмовилися від ДМВП, замінивши їх датчиками абсолютного тиску. Але витратоміри повітря, засновані на нагрівальному елементі, в даний час використовуються найбільш широко.

#### 4.3.1 Датчик масової витрати повітря з дротяним нагрівальним елементом (ниткою)

В основі роботи даних ДМВП лежить використання дротяного нагрівального елемента у вигляді нитки з платини рис. 4.7.

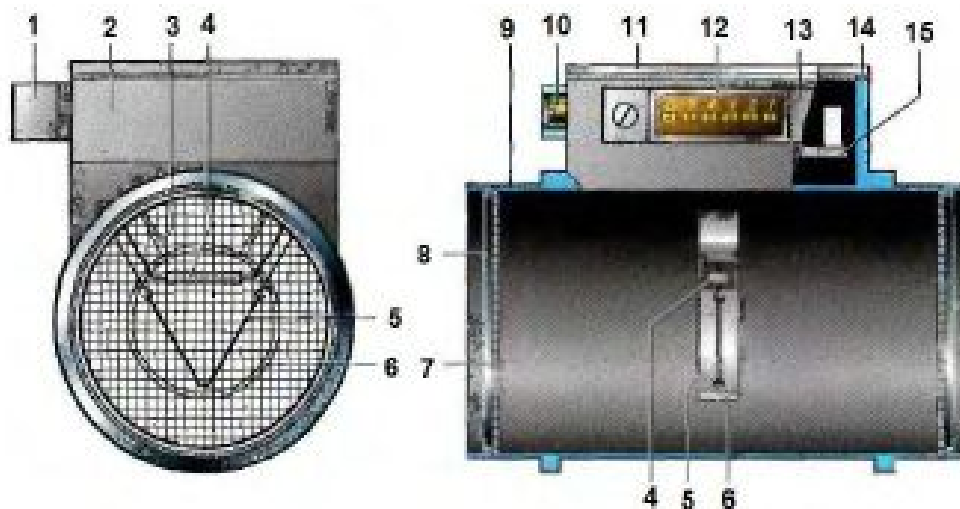


Рисунок 4.7 – Датчик масової витрати повітря з дротяним нагрівальним елементом:

1 - повітряний патрубок; 2 - корпус електронного модуля; 3 - кронштейн кріплення кільця; 4 - термокомпенсаційний резистор; 5 - платинова нитка (дріт); 6 - кільце; 7 - запобіжна сітка; 8 - стопорне кільце; 9 - корпус датчика; 10 - гвинт регулювання СО; 11 - кришка; 12 - колодка електричного роз'єму; 13 - штекер; 14 - ущільнювач, 15 - електронний модуль

Платина обрана з-за того, що даний метал володіє низьким питомим опором, не окислюється і не піддається впливу агресивних хімічних факторів, та найдовше чинить опір термічній деградації.

Дріт з платини діаметром 0,07 мм (допустиме відхилення в декілька мкм), розміщену в середині циліндричного повітряного каналу. На вході і виході каналу встановлюються спеціальні напрямні для отримання паралельних струменів повітря. Перед входом

встановлена запобіжна сітка. Електрична схема такого ДМВП постійно підтримує платиновий дріт в нагрітому стані. Конструкцією ДМВП передбачено, що повітря яке проходить через витратомір охолоджує поверхню платинового дроту. Електрична схема такого ДМВП має зворотній зв'язок, відповідно до якого по мірі охолодження дроту на нього подається більший електричний струм з тим, щоб підтримувати температуру дроту на постійному рівні.

Також у схемі витратоміра є перетворювач, завдання якого полягає в перекладі значення змінного струму в напругу. Між отриманим значенням напруги і пройденим об'ємом повітря є нелінійна експоненціальна залежність. Точна формула цієї залежності запрограмована в ЕБК, і у відповідності із нею він приймає рішення про те, яку кількість палива потрібно впорснути у циліндр двигуна в той чи інший момент часу.

Таким чином величина струму нагрівання необхідного для збереження постійного температурного перепаду між повітрям і дротом (провідником), є мірою маси повітря, що надходить у двигун.

Цей струм перетворюється в імпульси напруги, які обробляються ЕБК як основний вхідний параметр нарівні з частотою обертання колінчастого вала двигуна. Треба відзначити, що постійний перепад температур приблизно дорівнює 150 - 180°C, струм змінюється від 500 до 1500 мА, а діапазон вимірювання витрати повітря становить від 9 до 360 кг/год.

Так як, щільність гарячого і холодного повітря різна, як правило в конструкцію витратоміра вводять додатковий датчик температури впускного повітря, за показаннями якого ЕБК двигуна коригує розрахунки маси повітря, що надійшло до двигуна.

Повітря навіть після фільтра виявляється доволі "брудним" (присутні органічні частки) для термоанемометричного витратоміра.

Тому конструктивно передбачено самоочищення платинового дроту витратоміра повітря. Воно здійснюється після кожної зупинки двигуна автоматичним нагріванням дроту до 1000 – 1100 °C протягом декількох секунд. Самоочищення проходить, за умови, якщо температура охолоджуючої рідини в районі 60 °C і обороти двигуна перевищували 2000 об/хв. тобто двигун працював під навантаженням. Хоча, в різних системах керування двигуном цей алгоритм може змінюватися.

В результаті розігріву дроту з його поверхні випаровуються різні хімічні елементи, у тому числі пил. Однак внаслідок такого нагріву товщина дроту поступово зменшується. Це призводить, по-перше, до погрешностей в показаннях датчика, а по-друге, до поступового зносу самого дроту.

#### 4.3.2 Датчик масової витрати повітря з плівковим нагрівальним елементом (НФМ)

ДМВП плівкового типу (рис. 4.8) є результатом еволюції дротяного ДМВП, однак замість дроту в даному випадку в якості чутливого елемента використовується кристал кремнію.



Рисунок 4.8 – Датчик масової витрати повітря з плівковим нагрівальним елементом

На поверхню кристалу напилені кілька доріжок платини, кожна з яких виконує певну функціональну роль, а саме: нагрівальний (компенсаційний) резистор, терморезистор R1 та R2, а також датчик температури повітря, що всмоктується двигуном. Такий кристал кремнію встановлюється в захисний кожух і

розміщується в спеціальному каналі через який проходить повітря яке всмоктується двигуном.

Чутливий елемент витратоміра постійно знаходиться в підігрітому стані завдяки використанню нагрівального резистора, який підтримує постійну різницю температури в  $120^{\circ}\text{C}$  між нагрівальним резистором та повітрям яке всмоктується у двигун. По різниці температур між терморезистором R1 (який обдувається повітрям) і терморезистором R2 (який обдувається вже підігрітим, нагрівальним резистором повітрям і має майже постійну температуру  $90^{\circ}\text{C}$ ) та з урахуванням току нагріву нагрівального резистора визначається маса повітря, що надходить у двигун.

ДМВП випускають різноманітні фірми серед найбільш відомих такі фірми як Bosch, Siemens VDO, Pierburg, Behr-Hella, Magnetti Marelli, Kemp, але будова та принцип роботи витратомірів НФМ-типу однакова.

В якості приклада розглянемо НФМ витратоміри фірми Bosch, при цьому вони випускаються двох модифікацій НФМ5 (більш рання модель) та НФМ6 (вдосконалена модель). Будова та принцип роботи термоанемометричного плівкового витратоміру повітря НФМ представлено на рисунках 4.8 – 4.10.

Термоанемометричний ДМВП з плівковим нагрівальним елементом (НФМ) складається з вимірювальної трубки та вимірювального блоку з чутливим елементом (рис. 4.8). Вимірювання кількості повітря здійснюється в частини потоку (в байпасному каналі).

Завдяки спеціальній конструкції витратомір повітря може вимірювати масу прямого і зворотного потоку повітря. Частина потоку, яка необхідна для вимірювання маси повітря, всмоктується в байпасний канал за відбійником (рис. 4.9). Треба відзначити, що у моделі НФМ6 у порівнянні з попередньою моделлю НФМ5 байпасний канал оптимізований до потоку повітря. А саме байпасний канал повністю ізольовано від електронного блоку клейовими з'єднаннями і ущільненнями чутливого елемента. Крім того, зміцнено матеріал чутливого елемента. Завдяки вжитим заходам досягається підвищена міцність датчика.

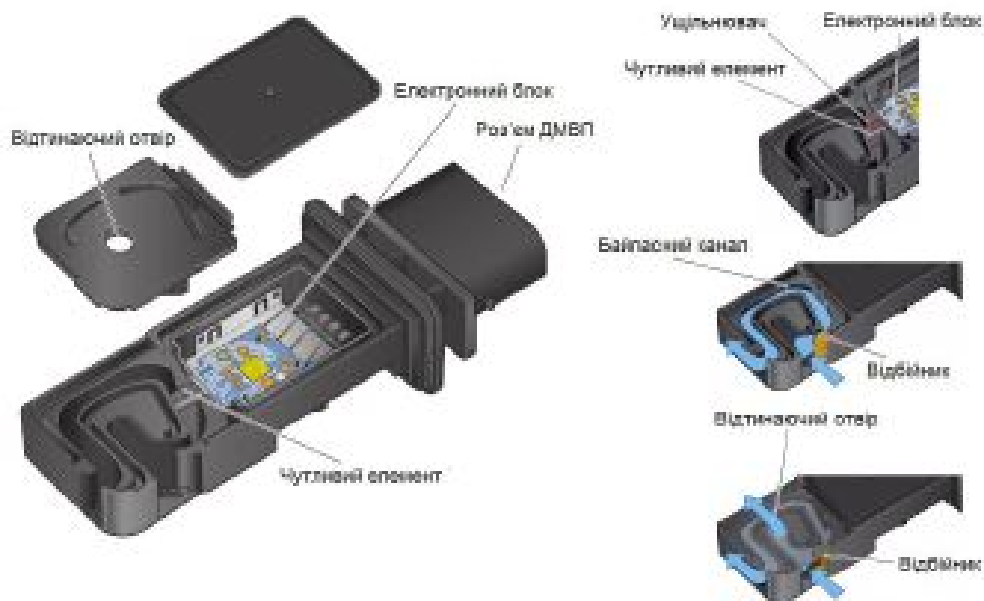


Рисунок 4.9 – Вимірювальний блок ДМВП з плівковим нагрівальним елементом

За рахунок конструкції відбійника за ним утворюється вакуум (рис. 4.9). Під дією вакууму частина потоку, яка необхідна для вимірювання маси повітря, всмоктується в байпасний канал. При цьому частинки бруду які повільно рухаються та не можуть слідувати за швидким потоком, тому вони через відтинаючий отвір знову потрапляють в основний потік повітря, що всмоктується двигуном.

Таким чином, частки бруду не можуть викривити результати виміру і пошкодити чутливий елемент.

В вимірювальному блоці знаходиться чутливий елемент.

Чутливий елемент виступає в частину потоку, яка використовується для вимірювання маси повітря (рис. 4.9 – 4.10). На чутливому елементі знаходяться (рис. 4.10):

1. нагрівальний резистор;
2. терморезистор R1;
3. терморезистор R2;
4. датчик температури повітря, що всмоктується двигуном.

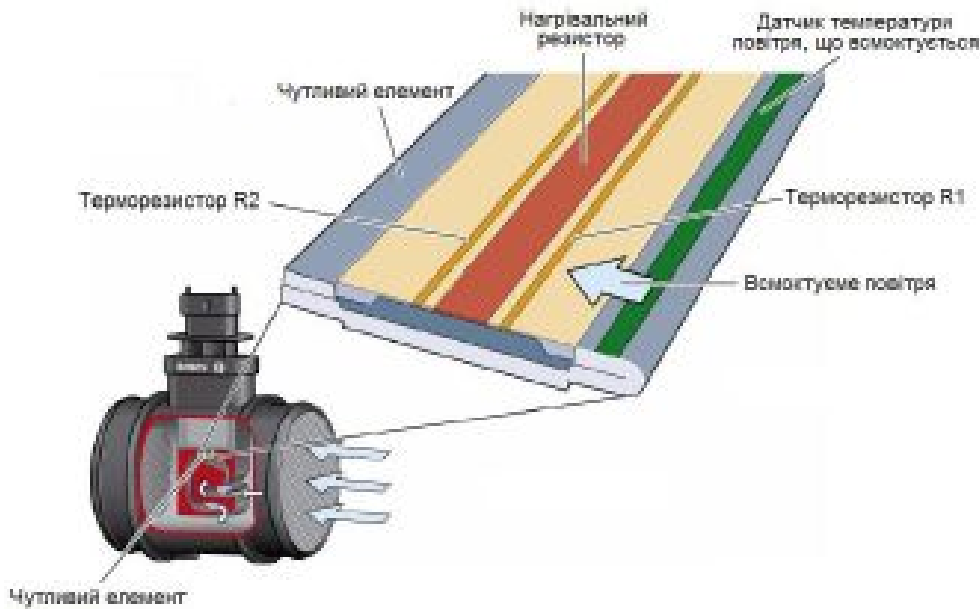


Рисунок 4.10 – Чутливий елемент ДМВП з плівковим нагрівальним елементом

Нагрівальний резистор нагріває центр чутливого елемента до температури на  $120^{\circ}\text{C}$  вище температури всмоктуваного повітря.

Тобто якщо температура всмоктуваного повітря  $30^{\circ}\text{C}$ , то виміряна температура буде становити  $120^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} = 150^{\circ}\text{C}$ . При цьому по мірі віддалення від нагрівального резистора до крайки чутливого елемента температура знижується.

За різницею температур резисторів R1 і R2 вимірювальний модуль НФМ-витратоміра визначає масу всмоктуваного повітря і напрямок повітряного потоку.

Завдяки тому, що датчик температури всмоктуваного повітря знаходиться на чутливому елементі, вимірювальний блок ДМВП визначає фактичну температуру повітря яке всмоктується двигуном.

Таким чином датчик температури повітря, що всмоктується служить для оцінки значень температури повітря всередині витратоміра. Треба також зазначити, що у більшості ЕБК двигуном для визначення температури всмоктуваного повітря є власний незалежний датчик температури.

При закритих впускних клапанах всмоктуване повітря відбивається від них і рухається назад до витратоміра. Якщо зворотній потік повітря не розпізнається, то результати вимірювань

викривляються. Повітря зворотнього потоку, що рухається в напрямку чутливого елемента, попередньо проходить через терморезистор R2, потім через нагрівальний резистор і на завершення через терморезистор R1 (рис. 4.10). За різницею температур резисторів R1 і R2 вимірювальний модуль визначає кількість повітря зворотного потоку і напрямок повітряного потоку.

Підсумовуючи усю вище зазначену інформацію про НФМ-витратоміри перерахуємо основні відмінності між НФМ6 та НФМ5:

1. інтегрована електроніка для обробки даних працює в цифровому режимі, що дозволяє домогтися більшої точності вимірювань (тобто використовується цифровий сигнал);

2. змінена конструкція каналу для вимірювання потоку повітря, яке всмоктується, що дозволяє забезпечити більш ефективний захист від забруднення чутливого елемента вимірювального блоку.

На відміну від попередніх моделей витратомір повітря НФМ6 посилає в блок управління двигуна цифровий сигнал рис. 4.11. До цього блок управління двигуна отримував аналоговий сигнал (рис. 4.12), який по мірі старіння витратоміра НФМ5 і під впливом перехідних опорів викривлявся, що вносило похибку в розрахунки ЕБК кількості повітря.

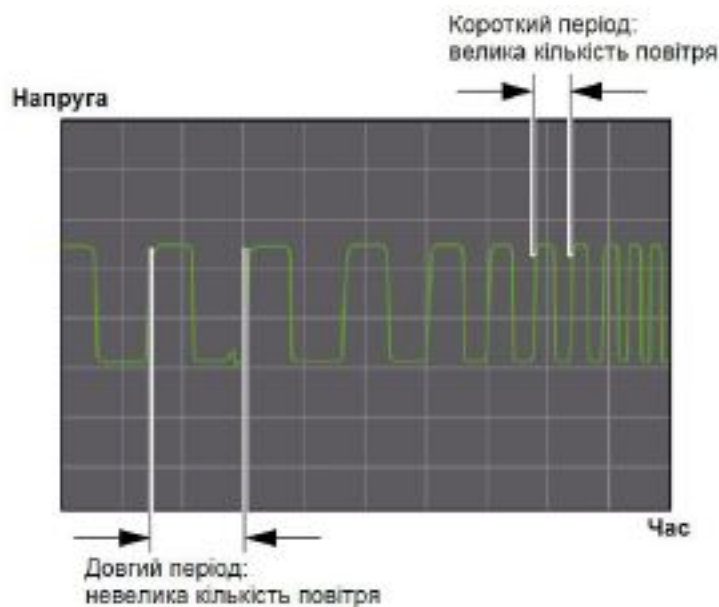


Рисунок 4.11 – Цифровий сигнал плівкового витратоміра НФМ6

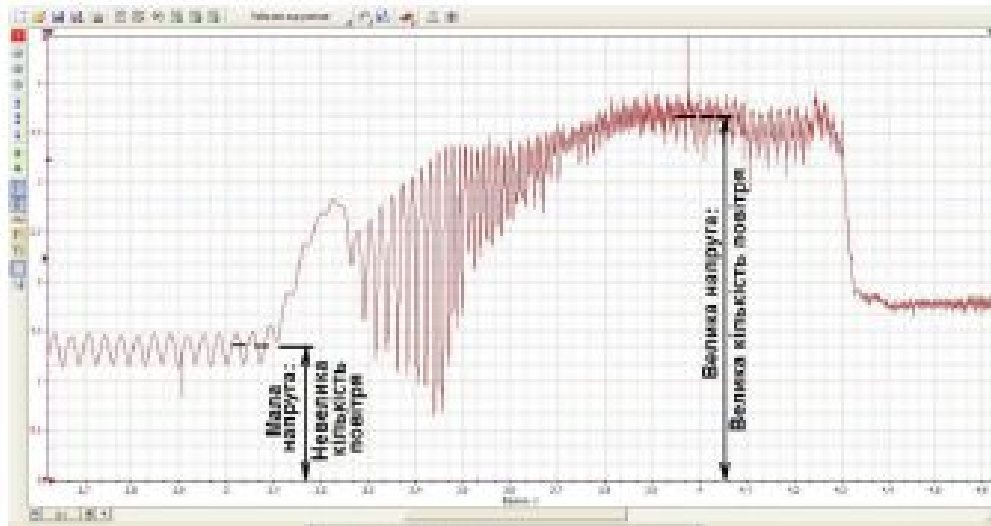


Рисунок 4.12 – Аналоговий сигнал плівкового витратоміра HFM5

Таким чином плівковий витратомір повітря HFM6 посилає цифровий сигнал вимірної маси повітря на ЕБК двигуна в формі частотного сигналу. По довжині періодів імпульсів ЕБК може визначити вимірну масу повітря. На цифрові сигнали менше впливають перешкоди, ніж на аналогові сигнали, що передаються по дротах.

#### 4.4 Перевірка технічного стану плівкового ДМВП - HFM5

Існує декілька конструкцій датчиків масової витрати повітря, при цьому велика кількість автомобілів оснащена саме датчиком масової витрати повітря HFM5.

Вихідний сигнал датчика масової витрати повітря HFM5 являє собою напругу постійного струму, яка змінюється в діапазоні 0 – 5 В.

Напруга вихідного сигналу датчика залежить від величини і напрямку потоку повітря яке проходить через датчик. При нульовій витраті повітря (двигун зупинений, запалювання відключене) вихідна напруга ДМВП дорівнює 1,00 В. Коли двигун працює, через датчик протікає повітря, і чим більший потік повітря, тим більшим є значення вихідної напруги датчика. На певних режимах роботи двигуна можуть виникати короточасні зворотні потоки повітря – коли повітря рухається у напрямку від впускного колектора двигуна до повітряного фільтру.

ДМВП HFM5 здатний реєструвати зворотні потоки повітря, при цьому його вихідна напруга знижується до значень менших 1,00 В

пропорційно до величини зворотнього потоку повітря.

Якщо сигнал з ДМВП має відхилення від норми, робота двигуна суттєво погіршується – підвищується витрата палива, зменшується "прийомистість" двигуна, на усталених режимах робота двигуна стає нестабільною, з'являється утруднений холодний пуск двигуна.

Відхилення параметрів вихідного сигналу, можуть бути пов'язані з "погіршенням" характеристик датчика масової витрати повітря, підсмоктуванням "неврахованого" повітря у впускний тракт, нестабільністю напруги живлення датчика.

У разі потрапляння на чутливий елемент датчика забруднень, знижується швидкість реакції датчика на зміну величини повітряного потоку, а також знижується точність вимірювання, що, в підсумку, призводить до приготування паливо-повітряної суміші з неправильним складом. Інтенсивне відкладення забруднень на чутливому елементі датчика може виникнути внаслідок несвоєчасної заміни повітряного фільтра.

Іноді спостерігаються пошкодження датчика, коли вихідний сигнал постійно знаходиться в межах 1,00 В і при збільшенні потоку повітря не змінюється. Двигун при цьому нормально запускається, але відразу глохне. У більшості випадків ЕБК може визначити тільки повністю несправний витратомір. "Погіршення" характеристик датчика визначаються блоком управління в рідкісних випадках.

#### **4.4.1 Підключення до плівкового ДМВП НFM5 для отримання його вихідного сигналу**

Для перегляду осцилограми напруги вихідного сигналу датчика масової витрати повітря НFM5, рекомендується скористатися диференціальними каналами осцилографа або мотортестера.

Схема підключення до плівкового ДМВП НFM5 для перевірки його технічного стану представлена на рис. 4.13.

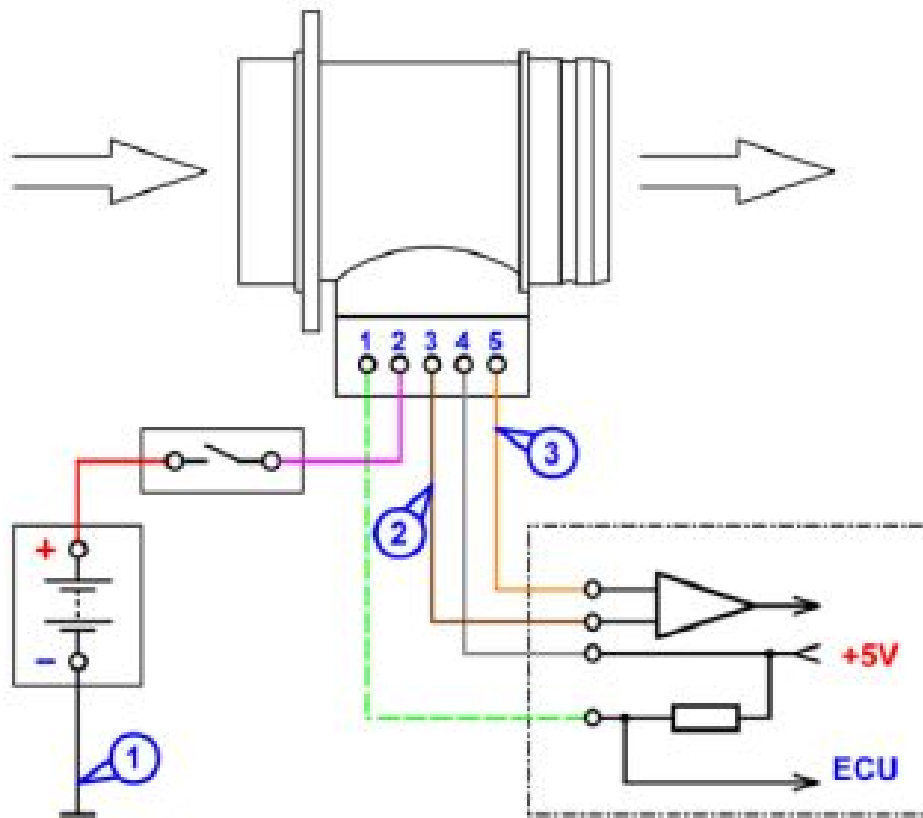


Рисунок 4.13 – Схема підключення до плівкового ДМВП НFM5: 1 – точка підключення «маси» прибору до «маси» автомобіля; 2 – точка підключення диференціального каналу осцилографа до «маси» ДМВП; 3 – точка підключення диференціального каналу осцилографа до вихідного сигналу напруги ДМВП

Якщо для отримання сигналу використовуються диференціальні канали осцилографа то один диференціальний канал приєднується до точки 2, а інший диференціальний канал приєднується до точки 3. В разі виконання виміру без застосування диференціальних каналів, то вимір виконується одним щупом кінці якого підключаються наступним чином: «мінусовий» кінець (чорний затискач) приєднується до точки 1, а «вимірювальний» кінець (червоний затискач) приєднується до точки 3.

Перевірка вихідного сигналу плівкового ДМВП НFM5 проводиться в три етапи:

1. вимір часу перехідного процесу в момент включення запалювання;
2. вимір значення напруги вихідного сигналу при нульовому потоці повітря;

3. вимір максимального значення напруги вихідного сигналу датчика при різкій перегазовці.

#### 4.4.2 Вимір часу перехідного процесу плівкового ДМВП НFM5 в момент включення запалювання автомобіля

В момент включення запалювання відбувається подача напруги на датчики і виконавчі механізми системи управління двигуном, в тому числі і на датчик витрати повітря. Відразу після подачі живлення на плівковий ДМВП НFM5 відбувається розігрів його чутливого елемента до робочої температури, при цьому, поки температура датчика стабілізується, виникає перехідний процес (рис. 4.14).

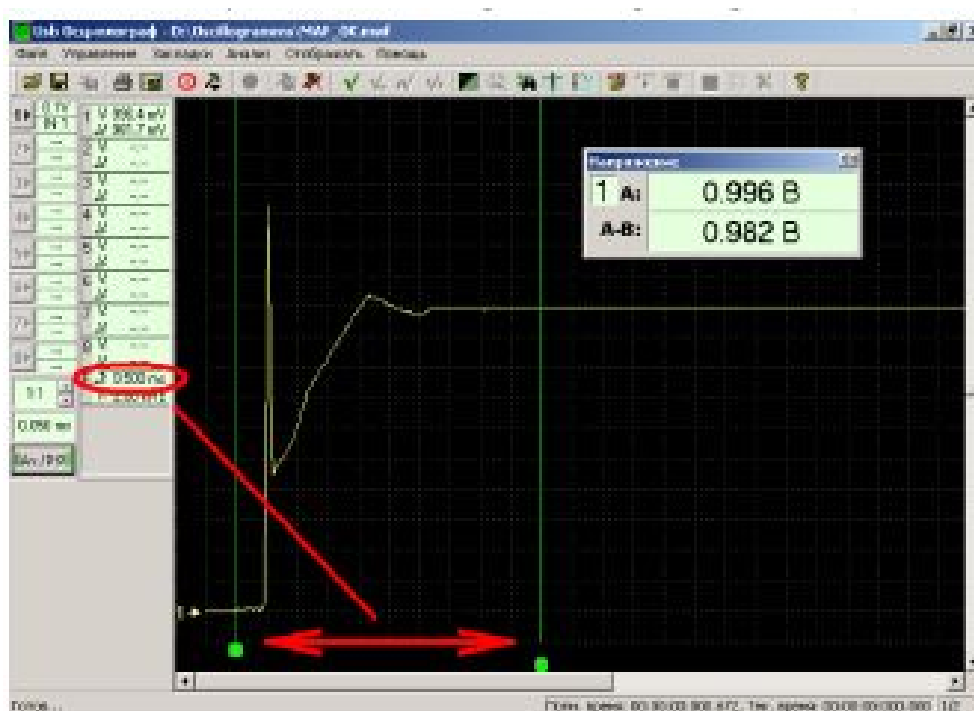


Рисунок 4.14 – Осцилограма вихідної напруги справного плівкового ДМВП НFM5 при подачі напруги живлення

На рис. 4.14 можна побачити наступні позначення:

A: – значення напруги в момент часу вказаний маркером. В даному випадку маркер відповідає напрузі вихідного сигналу ДМВП при нульовій витраті повітря (двигун зупинений) і дорівнює 0,996 В;

$\Delta T$  – значення інтервалу часу між двома маркерами. В даному випадку відповідає часу перехідного процесу вихідного сигналу при подачі живлення на датчик і він дорівнює  $\approx 0,5$  мс.

Час перехідного процесу вихідного сигналу справного ДМВП не повинно перевищувати декількох одиниць мілісекунд (до 10 мс).

Забруднення які відклалися на чутливому елементі датчика, розігріваються разом із ним. Якщо кількість забруднень, що відклалися, значна, то час розігріву чутливого елемента ДМВП до робочої температури збільшується, відповідно збільшується і тривалість перехідного процесу (рис. 4.15).

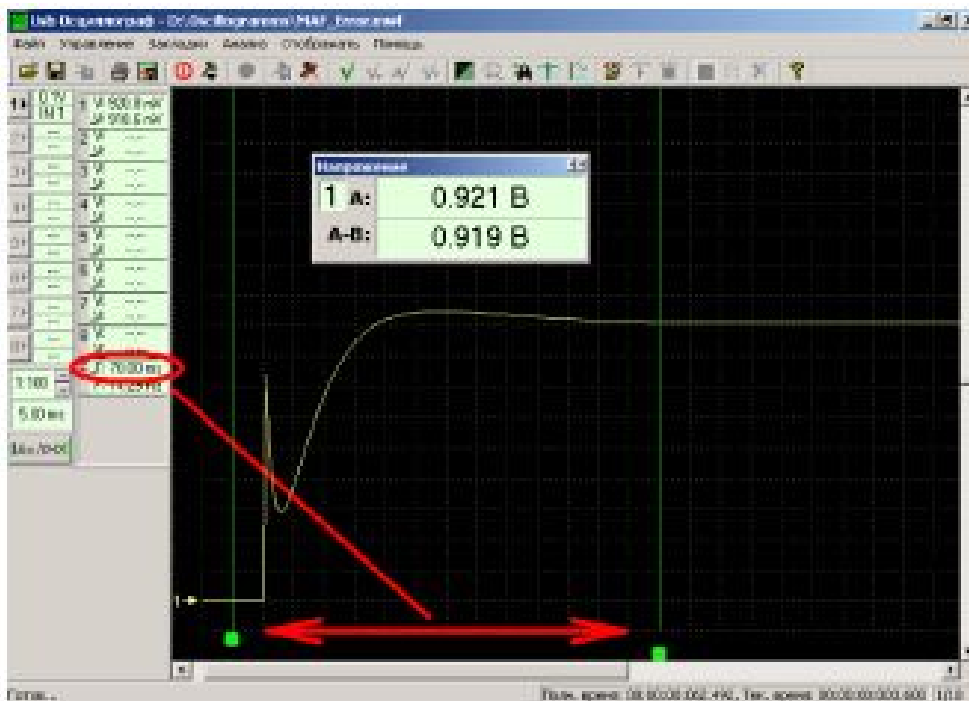


Рисунок 4.15 – Осцилограма вихідної напруги несправного ДМВП HFМ5

На рис. 4.15 можна побачити наступні позначення:

A: – значення напруги в момент часу вказаний маркером. В даному випадку маркер відповідає напруженню вихідного сигналу ДМВП при нульовій витраті повітря (двигун зупинений) і дорівнює 0,921 В;

$\Delta T$  – значення інтервалу часу між двома маркерами. В даному випадку відповідає часу перехідного процесу вихідного сигналу при подачі живлення на датчик і він дорівнює  $\approx 70$  мс.

Час перехідного процесу вихідного сигналу ДМВП із забрудненим вимірювальним елементом може становити десятки, а іноді і сотні мілісекунд.

#### **4.4.3 Вимір вихідної напруги плівкового ДМВП HFМ5 при нульовому потоці повітря**

Вимір значення напруги вихідного сигналу ДМВП при нульовій витраті повітря проводиться на зупиненому двигуні і при включеному запалюванні. Для ДМВП HFМ5 нульовій витраті повітря відповідає значення вихідної напруги  $1 \pm 0,02$  В.

#### **4.4.4 Вимір вихідного напруги плівкового ДМВП HFМ5 при різкій перегазовці**

Вимір максимального значення напруги вихідного сигналу ДМВП при різкій перегазовці проводиться шляхом різкого відкриття дросельною заслонки на короткий час (не більше однієї секунди) за умови, що перемикач режиму роботи трансмісії знаходиться в положенні "Neutral" (нейтраль) і двигун прогрітий до робочої температури.

Треба відзначити, що методика вимірювань максимального значення напруги вихідного сигналу ДМВП HFМ5 при різкій ерегазовці може застосовуватися тільки в тому випадку, якщо педаль акселератора перевіряемого двигуна з'єднана із дросельною заслінкою механічно (за допомогою троса / важелів) і тільки для атмосферних двигунів (тобто двигун, що діагностується не повинен бути оснащеним турбіною або компресором).

В момент різкої перегазовки відбувається наступне. При роботі двигуна на обертах холостого ходу без навантаження повітря у впускному колекторі сильно розріджене, так як приток повітря у впускний колектор обмежений дросельною заслонкою і клапаном холостого ходу.

Абсолютний тиск у впускному колекторі при цьому нижче атмосферного на 0,6 - 0,7 бар. При цьому маса розрідженого повітря, що заповнює колектор незначна. При різкому відкритті дросельної заслінки, повітря різко спрямовується через відкриту дросельну заслінку у впускний колектор і швидко заповнює об'єм колектора до тих пір, поки абсолютний тиск в ньому не досягне значення близького до атмосферних.

Цей процес відбувається дуже швидко, внаслідок чого потік повітря через ДМВП досягає значень близьких до максимальних. Після того як абсолютний тиск у впускному колекторі досягне значення близького до атмосферного, величина потоку повітря, що

протікає через ДМВП стає пропорційною частоті обертання колінчастого валу двигуна.

Напруга вихідного сигналу справного плівкового ДМВП НFM5 відразу після різкого відкриття дросельної заслінки повинно короткочасно зрости до значення не менше ніж 4,0 В (рис. 4.16).

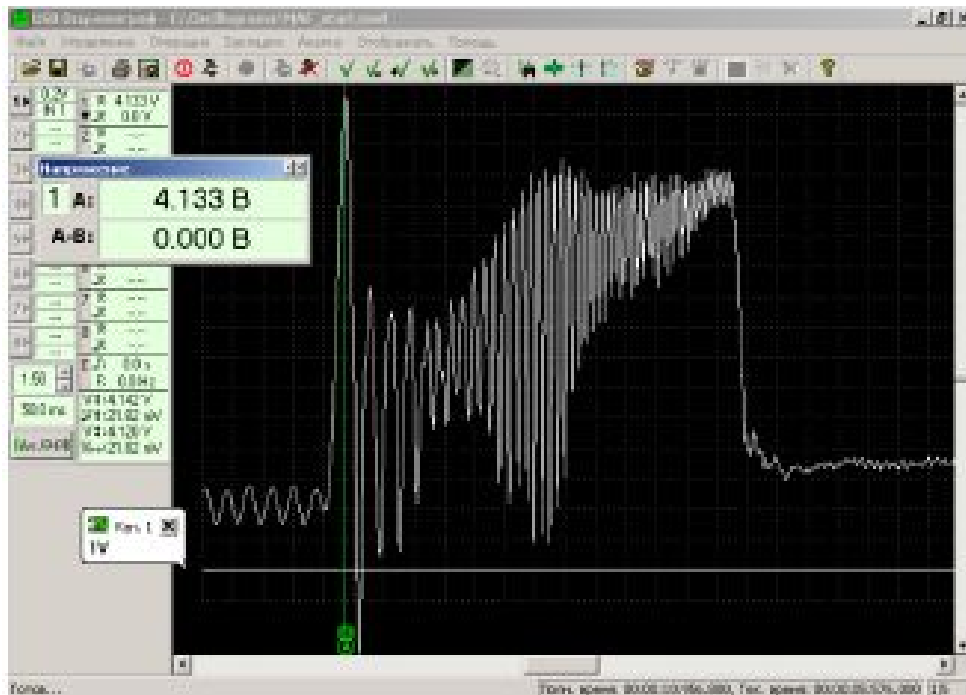


Рисунок 4.16 – Осцилограма напруги вихідного сигналу справного плівкового ДМВП НFM5 при різкій перегазовці

У разі значного забруднення чутливого елемента ДМВП, швидкість реакції датчика знижується, і форма осцилограми напруги вихідного сигналу датчика стає "згладженою" (рис. 4.17). Забруднення, що відклалися на чутливому елементі ДМВП утворюють теплоізолятор, який знижує інтенсивність охолодження чутливого елемента ДМВП, а це в свою чергу призводить до зменшення струму підігріву і вихідного сигналу датчика (відповідно, зменшується і кількість впорскуваного в циліндри палива).

Внаслідок зниження швидкості реакції, здатність датчика реєструвати швидкі зміни величини і спрямування потоку повітря погіршується. Як наслідок, після різкого відкриття дросельною заслінки, напруга вихідного сигналу такого датчика вже "не встигає" досягти значення 4,0 В.

Несправності плівкового ДМВП НFM5 усуваються тільки шляхом його заміни.

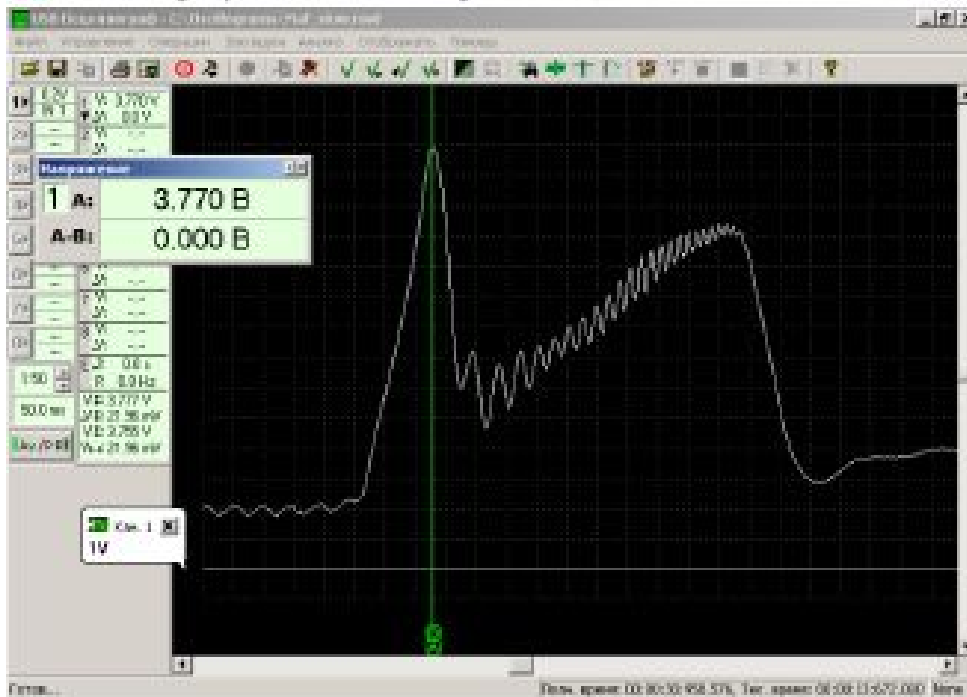


Рисунок 4.17 – Осцилограма напруги вихідного сигналу несправного плівкового ДМВП HFМ5 при різкій перегазовці

#### 4.5 Контрольні питання

1. Для чого необхідний датчик витрати повітря? Яких типів вони бувають?
2. Назвіть переваги ДМВП та недоліки ДОВП.
3. Опишіть в чому полягає метод визначення об'ємної витрати повітря за принципом Кармана?
4. Опишіть конструкцію та принцип роботи ДОВП який працює на принципі підрахунку вихорів Кармана за допомогою датчика тиску.
5. Опишіть конструкцію та принцип роботи ДОВП який працює на принципі підрахунку вихорів Кармана за допомогою елементів, що нагріваються.
6. Які несправності притаманні датчикам об'ємної витрати повітря?
7. Який загальний принцип роботи ДМВП?
8. Опишіть конструкцію та принцип роботи ДМВП з дротяним нагрівальним елементом.
9. Навіщо використовують режим самоочищення в термоанемометричних витратомірах?
10. Опишіть конструкцію та принцип роботи ДМВП з плівковим

нагрівальним елементом?

11. Чому в плівкових ДМВП не використовують режим самоочищення, що для цього зроблено?

12. Як плівковий ДМВП розпізнає зворотній потік повітря?

13. Яка відмінність між плівковим датчиком масової витрати повітря HFМ6 та HFМ5?

14. Яка величина вихідної напруги ДМВП HFМ5 в залежності від режиму роботи двигуна?

15. До чого призводить потрапляння забруднень на чутливий елемент ДМВП?

16. Який принцип підключення до ДМВП HFМ5 для його перевірки? Які існують етапи перевірки ДМВП HFМ5?

17. В чому полягає суть виміру часу перехідного процесу плівкового ДМВП HFМ5 в момент включення запалювання автомобіля?

18. В чому полягає суть вимір вихідної напруги плівкового ДМВП HFМ5 при нульовому потоці повітря?

19. В чому полягає суть вимір вихідного напруги плівкового ДМВП HFМ5 при різкій перегазовці?

## 5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ДВИГУНА

### Мета роботи:

- розглянути призначення датчиків температури;
- розглянути принцип роботи датчиків температури;
- розглянути типові несправності датчиків температури двигуна.

### 5.1 Загальні теоретичні відомості

Існують різні типи систем керування двигуном, будова яких може відрізнятися значною мірою. Але в будь-якій із систем управління двигуном обов'язково застосовується датчик температури охолоджуючої рідини (Engine coolant temperature sensor) рис. 5.1 б. та рис. 5.2. У більшості систем застосовується датчик температури повітря у впускному тракті двигуна (Intake air temperature sensor) рис. 5.1 а.



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд датчика температури:  
а - охолоджуючої рідини; б - повітря у впускному тракті

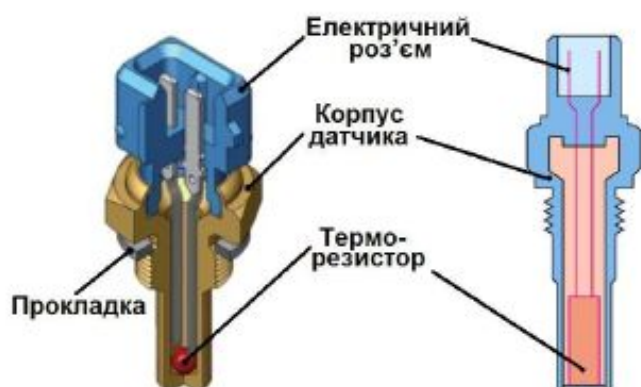


Рисунок 5.2 – Будова датчика температури охолоджуючої рідини

Залежно від температури охолоджуючої рідини, електронний блок керування (ЕБК) коригує склад паливо-повітряної суміші, частоту обертання колінчастого вала двигуна на холостому ході, кут випередження запалювання. Вплив показань датчика температури охолоджуючої рідини на роботу системи керування двигуном дуже великий. Наприклад, якщо внаслідок несправності розраховане ЕБК значення температури охолоджувальної рідини двигуна не збігається з фактичною температурою охолоджуючої рідини двигуна на значну величину, то двигун може заглухнути / не запускатися.

Більшість датчиків температури повітря у впускному тракті аналогічні за будовою і принципом дії датчикам температури охолоджуючої рідини (рис. 5.2). Залежно від температури повітря у впускному тракті, ЕБК коригує склад паливо-повітряної суміші.

Вплив показань датчика температури повітря у впускному тракті на роботу системи управління двигуном особливо помітно в таких системах, де не застосовується датчик витрати повітря.

## **5.2 Принцип дії датчиків температури двигуна**

В якості датчиків температури охолоджуючої рідини і більшості датчиків температури повітря у впускному тракті двигуна застосовуються терморезистори з негативним температурним коефіцієнтом, тобто із збільшенням температури датчика його опір зменшується.

Датчик температури охолоджуючої рідини встановлюється в потоці охолоджувальної рідини двигуна. За низької температури охолоджуючої рідини, опір датчика високий (3,52 кОм при +20°C); при високій температурі – опір датчика низький (240 Ом при 90°C).

Від ЕБК, через розташований всередині нього резистор з постійним електричним опором, на датчик температури двигуна надходить опорна напруга величиною 5 В, другий контакт датчика з'єднано з "масою" (рис. 5.3).

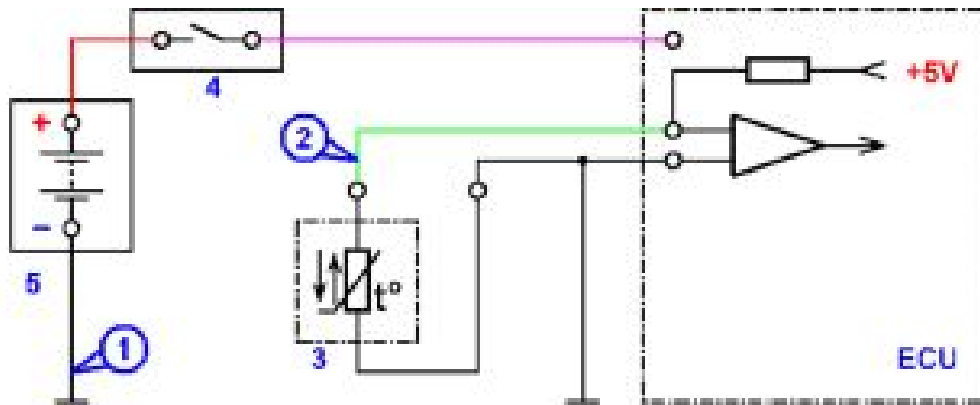


Рисунок 5.3 – Схема включення датчика температури двигуна, в якості чутливого елемента якого застосовується терморезистор

На рис. 5.3 прийняті наступні позначення:

ECU - Блок керування двигуном;

1 - Точка підключення блакитного затискача осцилографічного щупа до маси автомобіля;

2 - Точка підключення червоного (сигнального) затискача осцилографічного щупа для отримання осцилограми вихідної напруги датчика;

3 - Датчик температури;

4 - Вимикач запалювання;

5 - Акумуляторна батарея.

Датчик температури двигуна шунтує опорну напругу, внаслідок чого, значення напруги на датчику виявляється меншим за опорну напругу. Зі збільшенням температури охолоджуючої рідини (наприклад, при прогріванні двигуна), опір датчика зменшується і, відповідно, зменшується напруга на датчику. За величиною цієї напруги ЕБК розраховує поточне значення температури охолоджувальної рідини двигуна.

В табл. 5.1 наведена типова залежність опору датчика температури від температури охолоджувальної рідини двигуна.

Таблиця 5.1 – Характеристики датчика температури охолоджуючої рідини

Температура, °С	Опір, Ом ± 2 %
-40	100700
-30	52700
-20	28680
-15	21450
-10	16180
-4	12300
0	9420
+5	7280
+10	5670
+15	4450
+20	3520
+25	2800
+30	2240
+40	1460
+45	1190
+50	970
+60	670
+70	470
+80	330
+90	240
+100	180
+130	70

В якості датчиків температури повітря у впускному тракті двигуна іноді застосовується PN-перехід (діод), наприклад, датчик температури повітря вбудований в корпус датчика масової витрати повітря BOSCH HFM5 (рис. 5.4).



Рисунок 5.4 – Зовнішній вигляд датчика температури повітря в впускному тракті на основі PN-переходу

Зі зростанням температури такого датчика при заданому струмі, що протікає через датчик, напруга на датчику знижується від 650 мВ до 350 мВ.

### **5.3 Типові несправності датчика температури двигуна**

Найбільш поширеною несправністю датчиків температури двигуна, в якості чутливого елемента якого застосовується терморезистор, є невідповідність його електричного опору температурі його корпусу.

Найчастіше, така несправність проявляється як різке збільшення електричного опору датчика в дуже вузькому діапазоні температур корпусу датчика (або в декількох діапазонах температур), рідше зустрічається обрив чутливого елемента датчика. В момент, коли температура корпусу датчика потрапляє в цей діапазон, опір датчика різко збільшується, внаслідок чого збільшується і напругу на датчику. Внаслідок цього, розраховане ЕБК значення температури по збільшеній напрузі на датчику виявляється меншим дійсного.

Якщо розраховане ЕБК значення температури охолоджувальної рідини двигуна виявиться меншим дійсного на значну величину, ЕБК може збільшити кількість впорскуваного палива настільки, що двигун заглухне через перезбагачення паливо-повітряної суміші. Пуск двигуна при цьому стає неможливим. У деяких випадках може знадобитися заміна свічок запалювання.

Несправність датчика температури двигуна в момент її проява можна виявити за допомогою омметра шляхом порівняння виміряного опору датчика температури двигуна із табличним значенням для даної температури.

За необхідності проведення перевірки датчика температури, необхідно переглянути осцилограму вихідної напруги датчика у всьому діапазоні його робочих температур (рис. 5.5, 5.6).

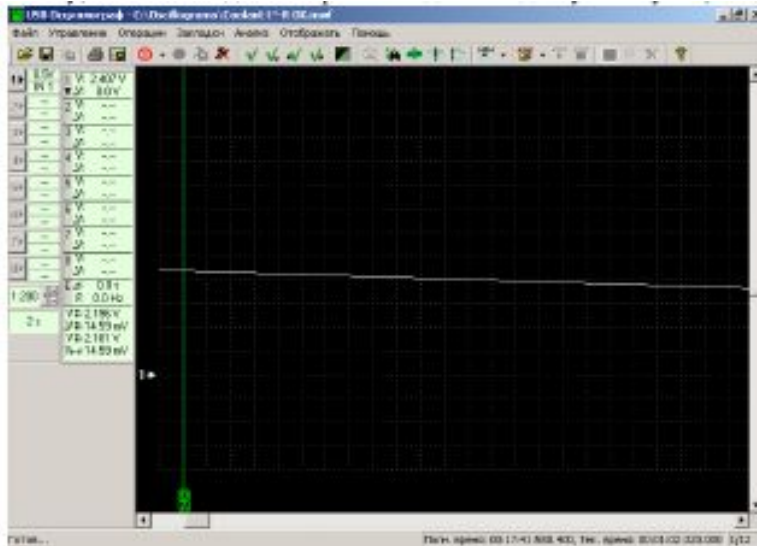


Рисунок 5.5 – Осцилограма напруги на справному датчику температури охолоджуючої рідини. Прогрів холодного двигуна в режимі роботи на холостому ході.

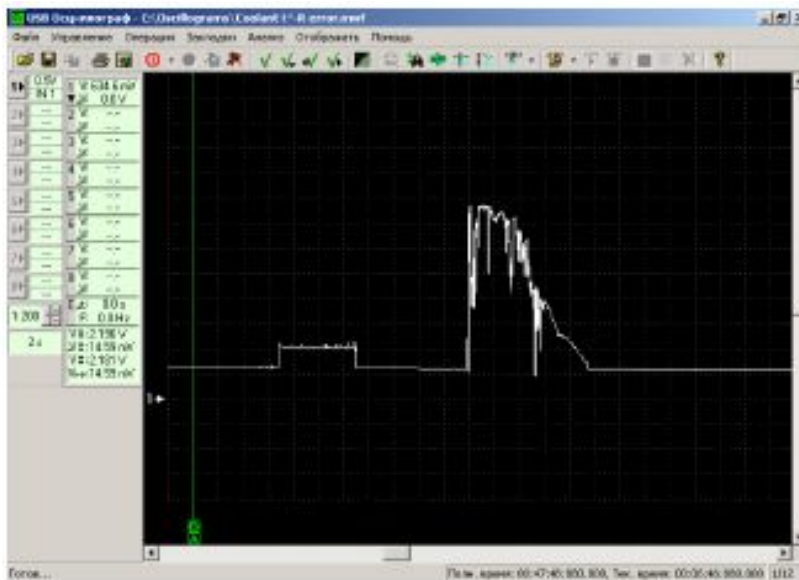


Рисунок 5.6 – Осцилограма напруги на несправному датчику температури охолоджуючої рідини. Двигун майже прогрівся до робочої температури. Виразно помітна викривлена форма осцилограми

При проведенні перевірки датчика температури необхідно дати двигуну повністю охолонути, після чого записати і переглянути осцилограму вихідної напруги датчика під час прогрівання двигуна, аж до моменту включення вентилятора системи охолодження

двигуна (або до моменту, коли внаслідок несправності датчика двигун заглухне).

По мірі прогрівання, напруга на датчику плавно та без будь яких ривків/провалів знижується. По мірі прогрівання датчика, напруга на справному датчику повинна плавно знижуватися.

Як можна бачити з рис. 5.6 напруга на несправному датчику температури охолоджуючої рідини при прогріванні двигуна раптово різко збільшується. В цей момент, ЕБК різко збагачує паливо-повітряну суміш. Але так як в даному випадку несправність датчика проявляється в дуже вузькому діапазоні температур, а отже і протягом короткого часу, двигун не заглух. По мірі подальшого збільшення температури охолоджуючої рідини несправність вже не проявлялася.

#### **5.4 Контрольні питання**

1. Який вплив оказують показання датчика температури охолоджуючої рідини на роботу системи управління двигуном?
2. Який вплив оказують показання датчика температури у впускному тракті на роботу системи управління двигуном?
3. Який принцип дії датчика температури охолоджуючої рідини?
4. Який принцип дії датчика температури повітря у впускному тракті двигуна із РN - переходом?
5. Які типові несправності датчиків температури двигуна?
6. Як можна перевірити несправність датчика температури двигуна?
7. Як правильно виконати перевірку датчика температури двигуна за допомогою осцилографа?
8. Чим характерна осцилограма вихідної напруги несправного датчика температури охолоджуючої рідини?

## 6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 ДАТЧИК КИСНЮ

### Мета роботи:

- розглянути призначення датчика кисню;
- розглянути принцип роботи вузькосмугових датчиків кисню;
- розглянути принцип роботи широкосмугових датчиків кисню;
- розглянути принципи перевірки технічного стану цирконієвих вузькосмугових датчиків кисню.

### 6.1 Загальні теоретичні відомості

Датчик кисню (ДК) – це датчик для вимірювання вмісту кисню у відпрацьованих газах двигуна автомобіля. Він розташований в випускній системі поблизу каталізатора. На основі даних, отриманих ДК, електронний блок керування (ЕБК) коригує розрахунок оптимальної пропорції паливо-повітряної суміші.

Історично склалося, що відношення кількості повітря до кількості палива, яке надходить в циліндри двигуна внутрішнього згоряння характеризується коефіцієнтом надлишку повітря  $\lambda$  (лямбда).

Завдяки чому датчик кисню отримав другу назву – лямбда-зонд ( $\lambda$ -зонд). Також в літературі можна зустріти такі назви датчика кисню: лямбда-зонд, Lambda-Zonde, O<sub>2</sub>-sensor, Oxygen Sensor.

Встановлено, що повне згорання 1 частини палива відбувається при наявності 14,7 частин повітря, це відношення називається *стехіометричним*. Коефіцієнтом надлишку повітря  $\lambda$  показує відношення дійсної кількості повітря (в суміші повітря-паливо) до теоретично необхідного.

При стехіометричному складі паливо-повітряної суміші (відношення кількості повітря до кількості палива дорівнює 14,7 : 1) коефіцієнт  $\lambda = 1$  і суміш в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння є оптимальною (рис. 6.1).

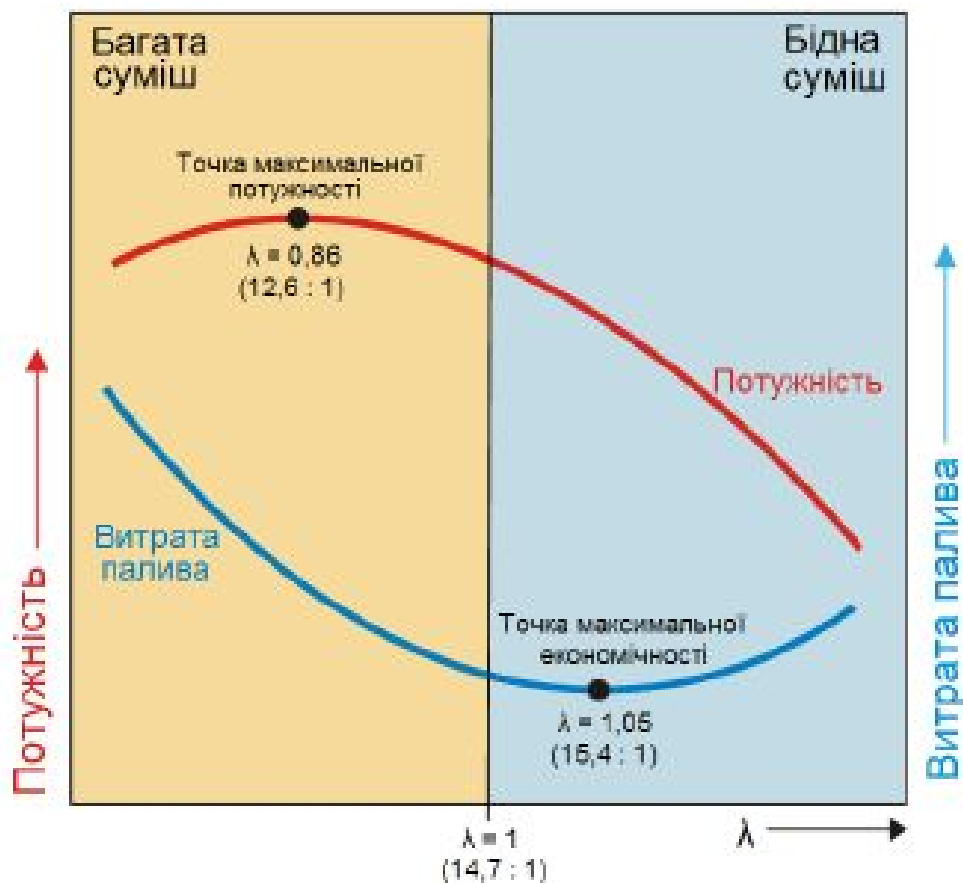


Рисунок 6.1 – Графік залежності потужності та витрати палива від коефіцієнта надлишку повітря  $\lambda$

Якщо  $\lambda < 1$  то паливо-повітряна суміш збагачена, тобто в наслідок недостатньої кількості повітря двигун отримує більшу кількість палива, а якщо  $\lambda > 1$  паливо-повітряна суміш збіднена так як кількості повітря більше ніж потрібно для оптимального складу паливо-повітряної суміші.

Як можна бачити з рис. 6.1, то з точки зору оптимальних значень потужності двигуна, коефіцієнт лямбда повинен бути в діапазоні 0,83 – 0,88 ("багата" суміш), а мінімальна витрата палива буде відповідати діапазону  $\lambda \approx 1,03 – 1,05$ . Також треба відзначити, що найкращі результати з очищення відпрацьованих газів будуть спостерігатися при  $\lambda = 1$ , оскільки ефективна робота каталітичного нейтралізатора відбувається при стехіометричному складі паливо-повітряної суміші.

Завдяки електронному блоку керування (ЕБК) та ДК сучасні двигуни можуть працювати на всіх трьох типах суміші, в залежності від поточних завдань (економія палива, інтенсивне

прискорення, зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах).

На більшості режимів руху автомобіля склад паливо-повітряної суміші близький до стехіометричного, однак при зміні режимів і умов роботи двигуна ЕБК його коригує.

При запуску двигуна паливо подається з надлишком (відношення від 1:1 до 5:1 тобто  $\lambda = 0,086 - 0,34$ ), тому що в холодному двигуні воно погано випаровується і конденсується на стінках впускного колектора, але при цьому свічки запалювання заливатися не повинні.

Для стійкої роботи при прогріванні двигуна суміш повинна бути збагаченою (відношення приблизно 11:1  $\Rightarrow \lambda = 0,75$ ). Ступінь збагачення залежить від температури охолоджуючої рідини і всмоктуваного повітря.

Після прогріву в режимі холостого ходу і сталому режимі руху, двигун працює як на стехіометричному складі суміші так і на збідненій суміші (від 14,7:1 до 18:1  $\Rightarrow \lambda = 1 - 1,22$ ).

У перехідних режимах, тобто при різкій зміні навантаження, дросельна заслінка відкривається досить швидко і у впускний колектор надходить більше повітря, тому суміш необхідно короткочасно збагачувати.

При русі автомобіля з повним навантаженням, для отримання максимальної потужності суміш необхідно збагачувати (відношення від 12:1 до 13:1  $\Rightarrow \lambda = 0,82 - 0,88$ ).

У режимі гальмування двигуном паливоподача повністю припиняється. При зниженні частоти обертання колінчастого вала нижче заданої величини паливоподача відновлюється.

Режим роботи системи подачі палива, коли ЕБК безперервно відстежує сигнал, що надходить від датчика кисню (ДК) і автоматично встановлює оптимальні настройки тривалості упорскування палива, називається управлінням подачею палива із зворотним зв'язком (closed loop – замкнута петля).

Датчик кисню, датчик детонації і деякі інші датчики дозволяють відслідковувати зміну вихідних параметрів роботи двигуна після реалізації керуючих впливів ЕБК. Сигнал з виходу цих датчиків сприймається електронним блоком управління двигуном і дозволяє забезпечити режим роботи зі зворотним зв'язком.

Зворотній зв'язок дозволяє ЕБК найбільш точно коригувати

роботу системи упорскування палива і системи запалювання, а також керувати витратою повітря (регулятор холостого ходу) при роботі двигуна на режимі холостого ходу.

Однак для поліпшення роботи системи подачі палива використовують управління подачею палива без зворотнього зв'язку (open loop – відкрита петля) у наступних випадках:

1. При прокручуванні двигуна в процесі запуску двигуна;
2. Під час прогріву двигуна, тобто, коли температура охолоджуючої рідини нижче  $45^{\circ}\text{C}$ ;
3. В процесі розгону / гальмування;
4. При високих навантаженнях;
5. При несправності датчика кисню.

Стандартно в сучасних автомобілях використовується два датчика кисню (для рядного двигуна). Один перед каталізатором (верхній датчик кисню), а другий після нього (нижній датчик кисню).

Відмінностей в конструкції верхнього і нижнього датчиків немає, вони можуть бути однаковими (не завжди), але виконують різні функції.

Верхній або передній ДК визначає зміст залишків кисню в відпрацьованих газах. За сигналом з даного датчика ЕБК "розуміє", на якому типі паливо-повітряної суміші працює двигун (стехіометрична, багата чи бідна).

Нижній (задній) ДК вимірює вміст кисню у відпрацьованих газах, які пройшли через каталітичний нейтралізатор. Порівнюючи свідчення заднього ДК з показаннями переднього ДК, ЕБК визначає стан каталітичного нейтралізатора (погіршення його технічного стану). При деградації верхнього ДК, відбувається ухід його рівня напруги від номінального (рівного приблизно 0,5 В при стехіометричному складі суміші). Наслідки цього уходу коригуються ЕБК за показниками нижнього ДК.

Датчики кисню в 1975 році винайшли інженери компанії Robert Bosch у відповідь на вимоги природоохоронних органів США ввести контроль за автомобільними викидами. Спочатку датчики кисню встановлювалися тільки на бензинові авто з системами уприскування. Першою машиною, на яку в 1977 року розпочали встановлювати ДК, стала 244-а модель Volvo.

Найбільші виробники ДК: компанії Bosch (Німеччина), Denso (Японія), NGK (Японія), Delphi (Велика Британія) та Profit (Чехія).

За принципом дії ДК бувають п'яти видів, які можна поділити на дві групи:

А.) Вузькосмугові

1. Цирконієвий ДК;
2. Титановий ДК;

Б.) Широкосмугові

3. Широкосмуговий ДК (планарний, LSU, Wideband sensors);
4. Датчики збідненої суміші (Sensors Lean Mixture);
5. Датчики складу суміші (Air Fuel Ratio Sensor)

Вузькосмуговий ДК (ВДК) може тільки показати, що паливо-повітряна суміш багата або бідна, тобто такий ДК не може дати кількісну оцінку того на скільки суміш відрізняється від стехіометричного складу в той чи інший бік. Таким чином вузькосмугові ДК працюють дуже в вузькому діапазоні  $\lambda = 1$  тому їх і називають вузькосмуговими. Такі ДК ще іноді називають двоточковими, це пов'язано з принципом їх роботи, так як вихідний сигнал цих ДК утворюється в наслідок різниці потенціалів з двох точок (поверхонь). Одна (зовнішня) поверхня контактує із відпрацьованими газами, а інша (внутрішня) поверхня контактує із атмосферою в наслідок чого і виникає різниця потенціалів. Також ВДК називають бінарними та стрибковими це пов'язано із тим, що такі датчики можуть показати тільки те що паливо-повітряної суміші багато або бідна звідси і назва бінарні ДК. Внаслідок того, що ВДК миттєво змінює свою вихідну характеристику при відображенні багатой чи бідної паливо-повітряної суміші відносно її стехіометричного складу їх також іноді називають стрибковим датчиками кисню.

Більш досконалим датчиком кисню є широкосмуговий ДК він дозволяє вимірювати точне співвідношення повітря як в збідненому ( $\lambda > 1$ ), так і в збагаченому ( $\lambda < 1$ ) діапазонах, такі ДК показують безперервний сигнал в діапазоні  $0,7 < \lambda < 1$ . Дані ДК можуть показувати на яку величину і в який бік вміст кисню в відпрацьованих газах відхилився від стехіометричного складу. Широкосмугові датчики також іноді ще називають планарними у зв'язку із тим, що чутливий елемент таких ДК плоский (planar -

плоский), але це не зовсім правильно так як деяки виробники ДК, наприклад Bosch, роблять чутливі елементи вузькосмугових датчиків також плоскими.

Завдяки своїм властивостям, а саме широкому діапазону вимірювання, широкосмугові ДК можуть використовуватися в системах керування двигунами не тільки при двохступеновому регулюванні, а також при автоматичному регулюванні в умовах збідненої та збагаченої робочих сумішей. Тому цей ДК також придатний для регулювання роботи бензинових двигунів які працюють на збіднених паливо-повітряних сумішах, дизельних та газових двигунів, а також газових опалювальних бойлерів, звідси ще одна назва таких ДК – універсальний лямбда-датчик (Lambda - Sensor - Universal – LSU ).

Датчики збідненої суміші (Sensors Lean Mixture), датчики складу суміші (Air Fuel Ratio Sensor) і широкосмугові датчики кисню в якості вихідного сигналу, що визначає склад паливно-повітряної суміші використовують зміну величини струму, а не напруги або електричного опору.

Головна відмінність будь-якого датчика складу паливно-повітряної суміші від ВДК це в тому, що вихідних значенням для вимірювання складу суміші є значення струму, а не напруга. Напруга є керуючими сигналами або вихідними з контролера, без якого даний вид датчиків не здатний працювати. І звичайно такі ДК більш чутливі.

Датчики збідненої суміші (Sensors Lean Mixture) були розроблені для паливних систем двигунів, що працюють на "збіднених сумішах", в яких необхідно особливо точно вимірювання співвідношення паливо-повітряної суміші, що надходить в двигун.

Датчики складу суміші (Air Fuel Ratio Sensor) цілком коректно можна вважати як результат подальшого вдосконалення датчиків збідненої суміші. Відмінність таких датчиків кисню полягає в тому, що, подаючи на датчик напругу зсуву, вдалося розширити діапазон вимірюваного складу паливо-повітряної суміші.

## **6.2 Вузькосмугові датчики кисню**

### **6.2.1 Цирконієвий датчик кисню**

Один з найбільш поширених типів ДК це модель, що створена на основі діоксиду цирконію ( $ZrO_2$ ) рис. 6.2.

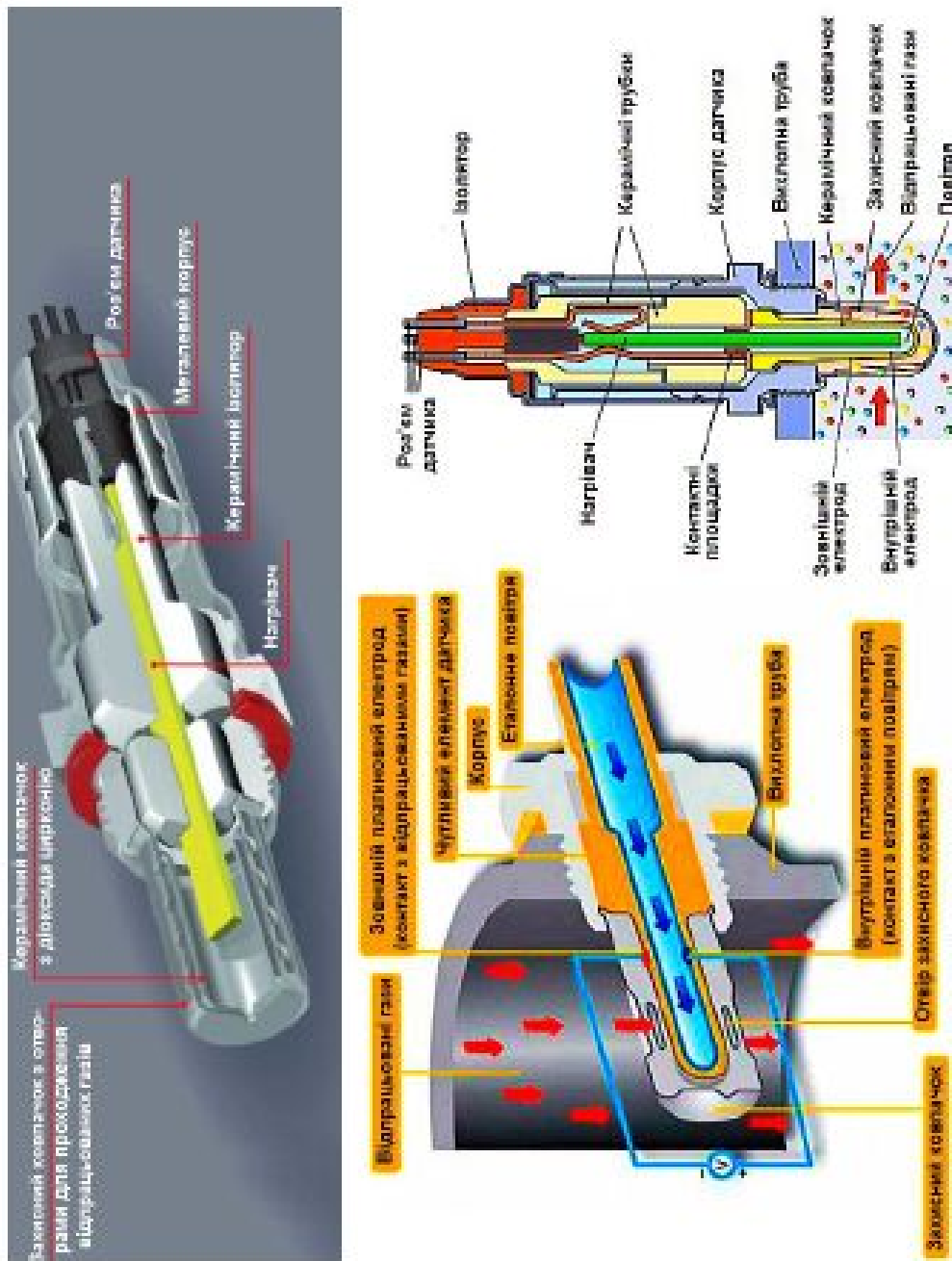


Рисунок 6.2 – Цирконієвий датчик кисню

Цирконієвий датчик кисню діє за принципом гальванічного елемента з твердим електролітом у вигляді кераміки з діоксиду цирконію ( $ZrO_2$ ).

Напруга, що виникає на електродах датчика кисню, залежить від концентрації кисню у відпрацьованих газах. Чим вона вища, тим нижче напруга. Діапазон напруг сигналу кисневого датчика знаходиться в межах від 100 до 900 мВ (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Вихідний сигнал цирконієвого датчика кисню

Сигнал має синусоїдальну форму, у якій виділяються три області: від 100 до 450 мВ – бідна суміш, від 450 до 900 мВ – багата суміш, значення 450 мВ відповідає стехіометричному складу паливоповітряної суміші.

### 6.2.2 Титановий датчик кисню

Датчики даного типу не генерують власної напруги, як це роблять цирконієві ДК, а працюють на принципі зміни опору в залежності від вмісту кисню у відпрацьованих газах (рис. 6.4).

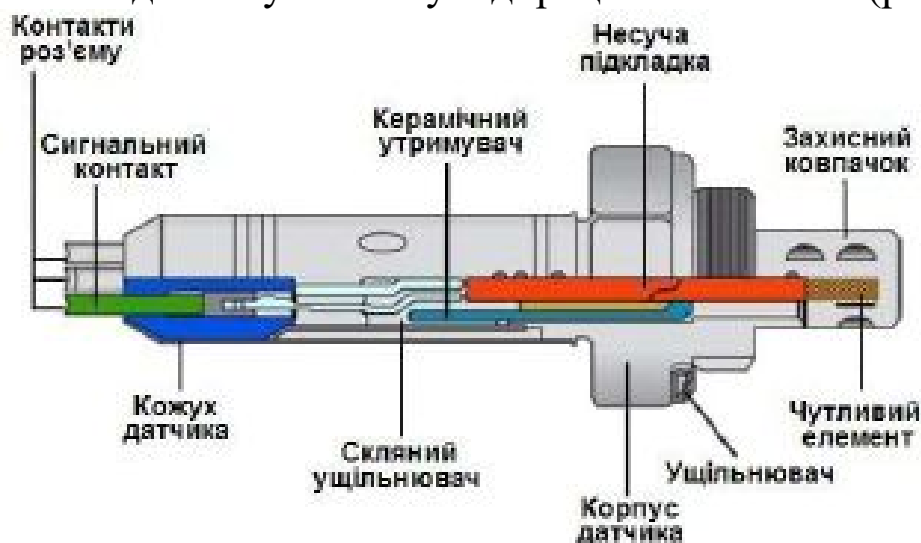


Рисунок 6.4 – Титановий датчик кисню

У датчиках цього типу (рис. 6.4) керамічний елемент виготовлений з діоксиду титану ( $TiO_2$ ) з використанням багатошарової

товстоплівкової технології. Одною з властивостей діоксиду титану є те, що його опір змінюється пропорційно концентрації кисню в викидах вихлопних газів. При більш високому вмісті кисню (збіднена суміш  $\lambda > 1$ ) він менш проводить (опір збільшується до 20 - 30 кОм), а при більш низькому вмісті кисню (збагачена суміш  $\lambda < 1$ ) він стає більш провідним (опір зменшується до 1 кОм).

Цей датчик не вимагає еталонного повітря, але повинен живитися напругою 5 В від ЕБК через комбінацію резисторів. Сигнал, необхідний для ЕБК, генерується падінням напруги на резисторах. Робоча температура титанового датчика складає 700° С, тому наявність нагрівального елемента обов'язкова.

Титанові ДК не потребують для порівняння кисень з атмосфери, як цирконієві ДК, тому в них відсутні вентиляційні отвори. Це важливо для позашляховиків, де вода, бруд та сміття можуть потрапляти у моторний відсік (не кажучи вже про днище автомобіля) і навіть у вихлопну систему.

Корпус титанового датчика може бути фізично меншим, міцнішим, а чутливий елемент з діоксиду титана має швидший час реакції, ніж діоксид цирконія. Титанові ДК менш чутливі до отруєння свинцем, ніж цирконієві ДК, однак вони більш чутливі до отруєнь антифризом.

Через свою складну конструкції, високу ціну і чутливість до перепадів температури велике поширення датчик не отримав. Також можливо це пов'язано з тим, що цей тип датчиків розробила та запатентувала фірма NGK і виробляла їх тільки вона. Найбільший виробник автоелектроніки (датчики, ЕБК) Bosch не випускав титанові ДК (так як вони були захищені патентом) і скоріше за все не захотіли переналаштовувати свої ЕБК для роботи з датчиками кисню конкурентів.

А також те, що в 1992 році NTK Technologies (підрозділ NGK) представив новий більш досконалий широкосмуговий датчик кисню. Тому NGK також вже не була дуже зацікавлена більш інтенсивно просувати титанові ДК.

Станом на 2020 рік нам відомо про відсутність останні 20 років нових транспортних засобів, якіб використовували цей тип датчиків, але можливо це зміниться у майбутньому.

### 6.3 Широкопугові датчики кисню (ШДК)

На даний час ШДК є найбільш сучасними із всіх ДК. В них також в якості вимірювального елемента використовується оксид цирконію, але на відміну від вузькопугових ДК, тут оксид цирконію наноситься керамічними шарами для утворення спеціальної вимірювальної структури чутливого елемента (рис. 6.5 та 6.6).

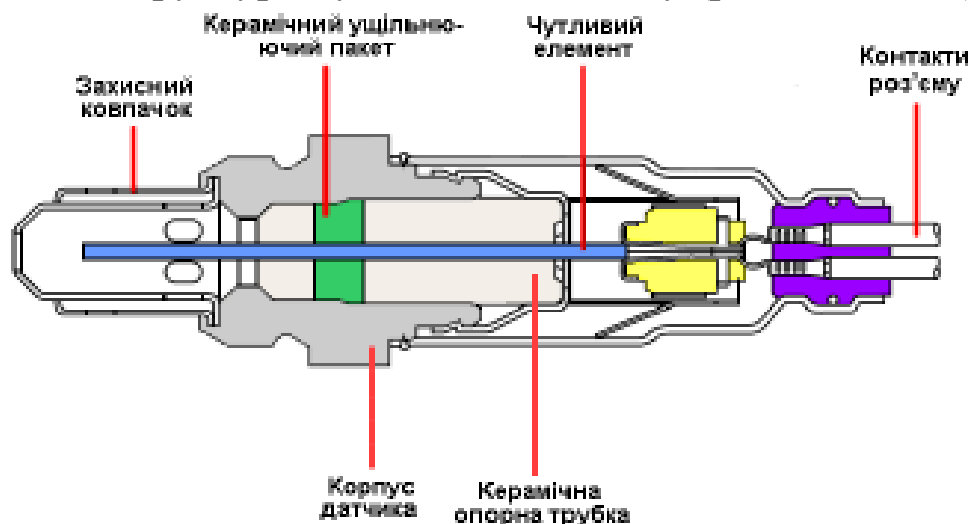


Рисунок 6.5 – Широкопуговий датчик кисню

Велика перевага цього способу побудови датчика полягає в тому, що нагрівач можна розташувати в вимірювальних шарах чутливого елемента, завдяки чому датчик нагріється до робочої температури дуже швидко.

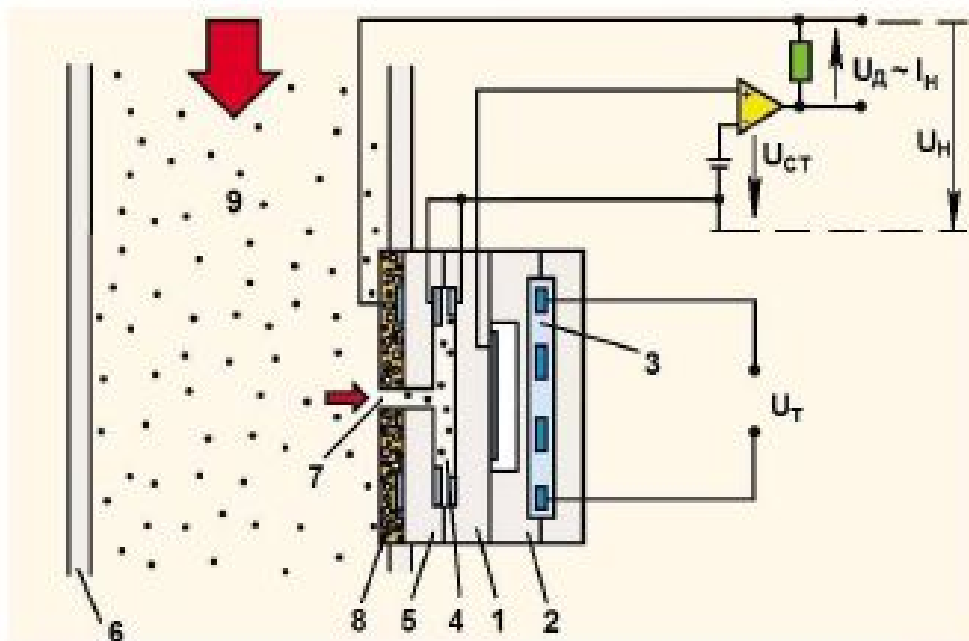


Рисунок 6.6 – Принцип дії широкопугового датчика кисню

На рис. 6.6 прийняті наступні позначення: 1 – Вимірювальна камера; 2 – Камера із еталонним повітрям; 3 – Нагрівальний елемент; 4 – Дифузійний канал; 5 – Насосна камера; 6 – Вихлопна труба; 7 – Отвір для доступу відпрацьованих газів; 8 – Пористий захисний шар; 9 – Відпрацьовані гази;  $I_H$  – струм насосної камери;  $U_H$  – напруга насосної камери;  $U_T$  – напруга нагрівального елемента;  $U_D$  – напруга датчика;  $U_{CT}$  – контрольна напруга (450 мВ відповідає  $\lambda = 1$ ).

Чутливий елемент ширококутового датчику кисню має дві камери (комірки) рис. 6.6: вимірювальна 1 та насосна 5. Вимірювальна та насосна камери створені з кераміки на основі із діоксида цирконію ( $ZrO_2$ ). Вимірювальна камера працює за схожим принципом як і вузькосмугові цирконієві ДК, а саме ШДК також потребує також повітря для порівняння, тобто йому потрібне еталонне повітря.

Насосна камера 5 такого датчика використовує принцип електрохімічного насоса для наповнення іонами кисню дифузійного каналу, тому насосну камеру ще іноді називають іонним насосом.

Насосна камера 5 для перекачки кисню розташована відносно вимірювальної камери 1 таким чином, щоб між ними утворювався дифузійний канал 4 (щелина) розміром 10 - 50 мкм. В цьому дифузійному каналі із вхідним отвором 7 для відпрацьованих газів 9, розташовані два електрода з пористої платини.

Вимірювальна камера з одного боку з'єднана із камерою з еталонним повітрям 2 тобто з атмосферою, а з іншого боку на неї діють відпрацьовані гази у дифузійному каналі 4.

ШДК має свою керуючу електроніку із замкнутим контуром, що дозволяє створювати вихідний сигнал датчика та регулювати температуру датчика. Вбудований нагрівач 3 швидко (10-15с) нагріває датчик до температури 650 - 900° С, що необхідно для отримання достовірного вихідного сигналу ДК, та для більш швидкого переходу системи управління двигуна в режим роботи закритої петлі. Підігрів датчика також в значній мірі зменшує вплив температури відпрацьованих газів на вихідний сигнал ШДК.

Під час роботи двигуна відпрацьовані гази потрапляють в дифузійний канал (вимірювальний простір) через невеликий вхідний отвір в насосній камері. Для того щоби можна було регулювати  $\lambda$  (коефіцієнт надлишку повітря) в дифузійному каналі вимірювальна

камера ШДК порівнює газ в дифузійному каналі із еталонним повітрям з атмосфери.

Увесь процес роботи такого ШДК протікає наступним чином. Шляхом подачі насосної напруги  $U_H$ , на платинові електроди насосної камери кисень, який міститься в відпрацьованих газах відкачується з дифузійного каналу, або навпаки кисень закачується у дифузійний канал. Керуюча електроніка ШДК регулює напругу насосної камери  $U_H$  на насосній камері за допомогою вимірювальної камери, таким чином, щоб склад газу у дифузійному каналі зберігався постійним і був стехіометричним ( $\lambda = 1$ ).

Таким чином склад газового вмісту дифузійного каналу постійно відповідає  $\lambda = 1$ , що для вимірювальної камери означає напругу у 450 мВ. Склад газу у дифузійному каналі, а разом з ним і напруга вимірювальної камери підтримуються за допомогою зміни напруги насосної камери  $U_H$ , що подається до насосної камери. При бідній суміші і відповідно при напрузі у вимірювальній камері нижчій за 450 мВ насосна камера виводить назовні кисень з дифузійного каналу.

Це відбувається завдяки тому, що до насосної камери подається позитивний насосний струм  $I_H$ . Якщо суміш є багатою і напруга вимірювальної камери перевищує 450 мВ, насосний струм  $I_H$  змінює свій напрям, і насосна камера транспортує кисень у дифузійний канал з камери із еталонним повітрям. При  $\lambda = 1$  перекачка кисню не виконується і насосний струм  $I_H$  дорівнює нулю. Цей струм пропорційний концентрації кисню у відпрацьованих газах і таким чином є нелінійною мірою коефіцієнта надлишку повітря ( $\lambda$ ) рис. 6.7.

Отже величина і напрям струму насосної камери свідчить про вміст кисню у вихлопних газах.

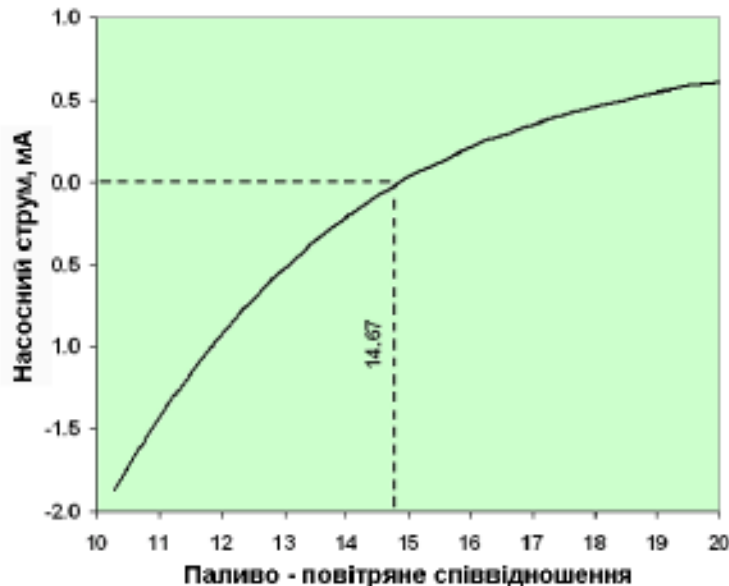


Рисунок 6.7 – Графік залежності насосного струму ШДК від складу паливо-повітряної суміші

Таким чином за величиною прикладеної напруги УН до насосної камери визначається реальний склад суміші. На відміну від ВДК, напруга ШДК може бути як позитивною, так і від'ємною. Позитивна напруга вказує на бідну суміш, а від'ємна напруга – ознака збагаченої суміші. Нормальний діапазон зміни напруги становить приблизно 1,5 В. В результаті ЕБК контролює напругу керування насосною камерою для підтримання на вимірювальній камері напруги 0,45 В. Це дає можливість визначати і реагувати на зміну складу паливо-повітряної суміші в діапазоні від 10:1 до 22:1 (тобто  $\lambda$  від 0,7 до 1,5).

Спрощений принцип роботи ШДК представлено на рис. 6.8.

Як раніше зазначалося широкосмугові датчики кисню складаються з двох частин: вимірювальної камери та камери накачування. За допомогою вимірювальної камери вміст кисню у вихлопних газах, що потрапляють у дифузійний канал, співставляється напруга, яка порівнюється із заданою величиною 450 мВ (це значення для стехіометричної суміші).

Будь-яка відхилення від 450 мВ призводить до того, що камера накачування, за допомогою струму накачування, в вимірювальну камеру подає або відводить стільки кисню (іонів кисню), щоб між електродом на стороні еталонного повітря і електродом вимірювальної камери встановилася величина напруги 450 мВ.

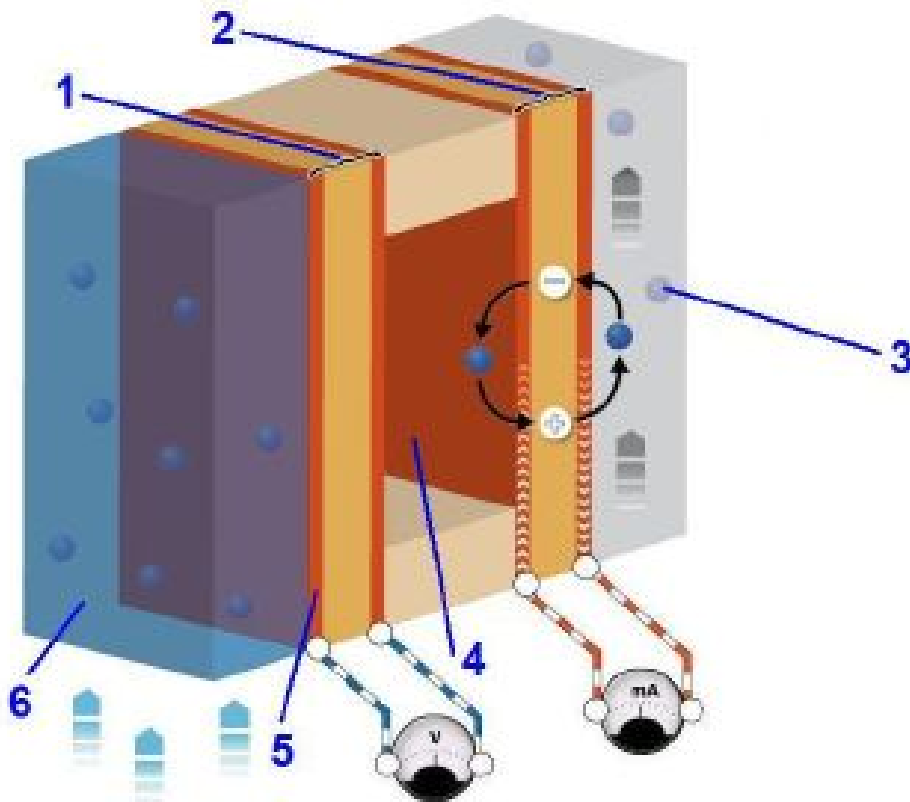


Рисунок 6.8 – Принципова схема роботи ШДК: 1 – Вимірювальна камера; 2 – Насосна камера; 3 – Відпрацьовані гази; 4 – Дифузійна камера; 5 – Платинові електроди; 6 – Еталонне повітря

Як раніше зазначалося широкосмугові датчики кисню складаються з двох частин: вимірювальної камери та камери накачування. За допомогою вимірювальної камери вміст кисню у вихлопних газах, що потрапляють у дифузійний канал, співставляється напруга, яка порівнюється із заданою величиною 450 мВ (це значення для стехіометричної суміші).

Будь-яка відхилення від 450мВ призводить до того, що камера накачування, за допомогою струму накачування, в вимірювальну камеру подає або відводить стільки кисню (іонів кисню), щоб між електродом на стороні еталонного повітря і електродом вимірювальної камери встановилася величина напруги 450 мВ.

Цей струм накачування є вимірюваною величиною, яка майже лінійно описує стан паливо-повітряної суміші і значення її лямбда-показника.

Яка вже зазначалося раніше у стехіометричної суміші струм

накачування дорівнює нулю, оскільки парціальний тиск кисню вимірювальної камери відповідає зазначенню вище згаданій величині 450 мВ. Тобто якщо суміш стехіометрична ( $\lambda = 1$ ), то ніякий струм через камеру накачування не йде рис. 6.9.



Рисунок 6.9 – Вихідний сигнал камери вимірювання та камери накачування ШДК

Якщо паливо-повітряна суміш багата, то кількість залишкового кисню у вихлопних газах дуже незначна і тоді в камері накачування індуктується негативний струм і кисень накачується в дифузійний канал.

При збідненій паливо-повітряній суміші концентрація залишкового кисню в відпрацьованих газах висока, в камері накачування індуктується позитивний струм і кисень відкачується з дифузійного каналу.

Величина і напрям струму насосної камери свідчить про вміст кисню у вихлопних газах.

Треба зазначити що вихідна характеристика ШДК це струм від  $\lambda$ , але так як ЕБК не може працювати із такою фізичною величиною, то за допомогою електроніки (резисторів) вихідна характеристика ШДК перетворюється у напругу від  $\lambda$ .

#### 6.4 Датчики збідненої суміші (Sensors Lean Mixture)

Впровадження технології двигунів збідненої суміші (Lean Burn) потребувало розробки датчиків нової конструкції. Основний параметр (крутизна) вихідний характеристики вузькосмугового ДК не дозволяє оцінювати (визначати) склад відпрацьованих газів при роботі двигуна

на збіднених сумішах. За допомогою таких датчиків ЕБК може визначати тільки приблизний склад паливо-повітряної суміші, тобто багата вона чи бідна, але не може визначити на скільки склад суміші відрізняється від стехіометричної величини (14,7 : 1) при роботі на збідненій паливо-повітряній суміші.

Датчики збідненого суміші були розроблені для паливних систем двигунів (де які автомобілі Honda, Toyota, Mitsubishi), які працюють на "збіднених сумішах", в таких двигунах необхідне особливо точне вимірювання співвідношення повітря і палива які надходять в двигун. Це були перші промислові датчики з пропорційною вихідною характеристикою.

Застосування таких датчиків кисню дозволяє контролювати і підтримувати збіднений склад суміші, що призводить до значного скорочення викидів окислів азоту ( $\text{NO}_x$ ) і зменшення витрати палива.

Датчик збідненого суміші працює наступним чином (рис. 6.10).

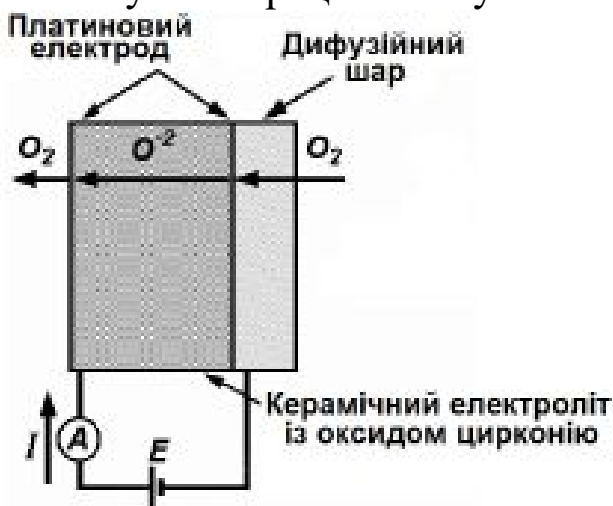


Рисунок 6.10 – Принцип роботи датчика збідненої суміші

До цирконієвого чутливого елемента прикладається напруга, яка викликає протікання через нього електричного струму за рахунок переміщення іонів кисню між електродами. Кількість переміщеного іонізованого кисню визначається як величина електричного струму і залежить від величини прикладеної напруги.

ЕБК подає на цирконієвий чутливий елемент напругу, величина якої залежить від ступеня збіднення суміші, а також ЕБК визначає струм, який протікає через датчик. Таким чином, якщо на чутливий елемент подавати постійну напругу, то струм, що протікає через нього, буде залежати від різниці концентрації кисню на його електродах. Іншими словами, ЕБК створює постійну складову струму,

що протікає через датчик. Таким чином ця постійна модулюється струмом, величина якого залежить від різниці вмісту кисню у вихлопних газах та в атмосфері.

У датчиках збідненої суміші для створення постійного струму пропорційного складу паливо-повітряної суміші використовується додатковий конструктивний керамічний дифузійний шар із функцією іонного насоса. Для правильного функціонування дифузійного шару і відповідно самого датчику збідненої суміші такий датчик повинен бути прогрітий до температури не менше ніж  $650^{\circ}\text{C}$ .

Таким чином у датчику збідненої суміші напруга подається на чутливий елемент з двоокису цирконію при високій температурі ( $650^{\circ}\text{C}$  і вище). В результаті цього виникає струм, значення якого пропорційно концентрації кисню у відпрацьованих газах. При цьому якщо паливо-повітряна суміш багата, то такий датчик його не генерує.

При бідній паливо-повітряній суміші в відпрацьованих газах міститься багато кисню, то величина струму, що генерується активним елементом, збільшується.

Для визначення ступеня збіднення суміші ЕБК подає на датчик змінну напругу і аналізує збільшення струму. Іншими словами, ЕБК "підключає" іонний насос і таким чином визначає склад суміші в цих умовах.

Суть процесів, що відбуваються в датчику, полягає в тому, що вихідний струм датчика залежить від складу суміші і збільшується в міру збіднення суміші (рис. 6.11).

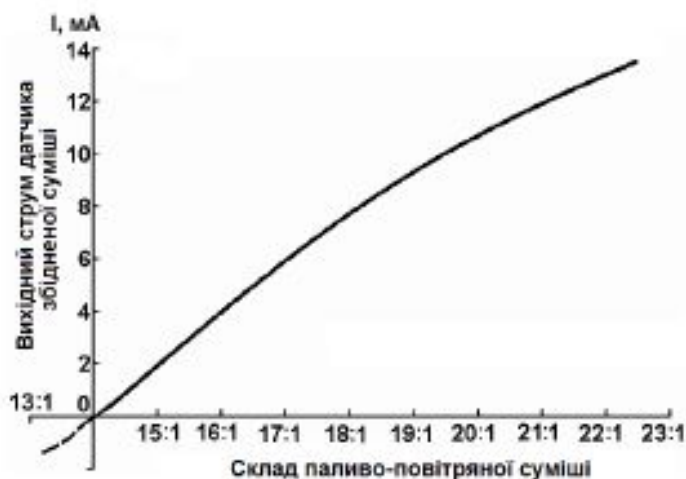


Рисунок 6.11 – Графік залежності струму від ступеня збіднення суміші

У той же час струм датчика залежить від прикладеної до нього напруги. У зоні до 0,3 вольт залежність вихідного струму датчика від прикладеної напруги при постійній концентрації кисню (атмосферне повітря містить приблизно 21% кисню) практично лінійна. Тому ЕБК в стані розрізнити струм датчика, викликаний цією напругою від струму, що визначається вмістом кисню в відпрацьованих газах.

Вихідна характеристика датчика збідненої суміші представлена на рис. 6.12, де показані графіки залежності струму, що протікає через датчик від поданої на нього напруги (0,2 ... 0,9 В) при різних складах суміші.

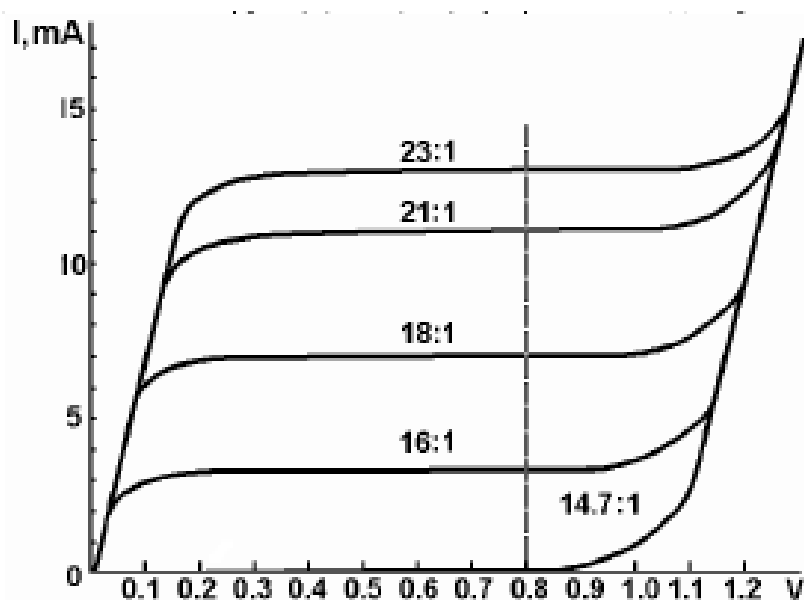


Рисунок 6.12 – Вихідна характеристика датчика збідненої суміші при різному її складі в залежності від напруги, що прикладена до датчика

Наприклад, коли на датчик подана постійна напруга 0,8 вольт, то електричний струм через чутливий елемент пропорційний вмісту кисню в відпрацьованих газах і тому його величина використовується для аналізу складу суміші.

З усього вище зазначеного випливає, що датчик збідненої суміші (Sensor Lean Mixture) виступає в двох ролях.

При збагаченій суміші датчик збідненої суміші працює, як звичайний ДК, генерує вихідну напругу понад 0,45 В. При збідненій суміші – працює як джерело струму. Причому ЕБК для збільшення чутливості датчика подає на нього відповідну напругу.

На жаль, в області багатопаливної суміші вихідний струм такого датчика насичується, а це знижує точність

визначення складу відпрацьованих газів в цьому діапазоні складу суміші.

Варто зауважити, що з часом основний недолік розглянутих датчиків – неможливість точного визначення складу паливо-повітряної суміші в області збагачення змусив розробників продовжити роботи в цьому напрямку. В результаті на зміну датчикам збідненої суміші (Sensors Lean Mixture) прийшли датчики складу суміші (Air Fuel Ratio Sensor) які позбавлені цього недоліку.

### **6.5 Датчики складу суміші (Air Fuel Ratio Sensor)**

Toyota з 1997 року почала використовувати датчики складу суміші (ДСС), щоб задовольнити вимоги щодо захисту навколишнього середовища американського штату Каліфорнія. З 1999 року вони знайшли застосування і в інших моделях Toyota і Lexus, а також Subaru.

Широкосмуговий датчик складу паливно-повітряної суміші відрізняється від звичайного ВДК тим, що не генерує напругу, а є джерелом струму при фіксованій напрузі на електродах чутливого елемента. При постійно прикладеній напрузі, цей струм лінійно залежить від складу паливо-повітряної суміші. Зміна цього струму використовується для точного визначення коефіцієнта надлишку повітря  $\lambda$  паливо-повітряної суміші у всьому діапазоні її зміни. Тобто такий датчик є лінійним і широкодіапазонним.

Цілком коректно цей датчик можна вважати як результат подальшого вдосконалення датчиків збідненої суміші (ДЗС). Відмінність ДСС від ДЗС полягає в тому, що, подаючи на датчик напругу зсуву, вдалося розширити діапазон вимірюваного складу паливно-повітряної суміші. А за рахунок використання операційних підсилювачів вдалося поліпшити лінійність вихідної характеристики датчики.

Чутливий елемент ДСС також виконано з діоксиду цирконія, а його поверхня покрита дифузійним захисним шаром. ЕБК задає постійну різницю напруги на електродах ДСС, ця різниця повинна складати 300 мВ. Струм ДСС буде генеруватися такий, щоби утримати задані 300 мВ, як фіксоване значення. В залежності від того багата чи бідна паливо-повітряна суміш напрямок струму буде змінюватися.

Принцип роботи ДСС наступний. Коли паливо-повітряна суміш бідніше оптимальної (стехіометричної), то через прокачування кисню із системи випуску до навколишнього середовища струм збільшується. Коли суміш багатше, то кисень "накачується" з навколишнього середовища в систему випуску.

При постійній напрузі струм змінюється при зміні складу паливо-повітряної суміші. Ця зміна виявляється досить лінійна і використовується для визначення складу суміші у всьому допустимому діапазоні її зміни.

Датчик складу паливно-повітряної суміші (рис. 6.13) виконаний так, щоб в зоні стехіометричного складу суміші при напрузі на чутливому елементі 3.3 В і різниці потенціалів між електродами, що дорівнює 0.3 В, його вихідний струм дорівнює нулю (рис. 6.14).

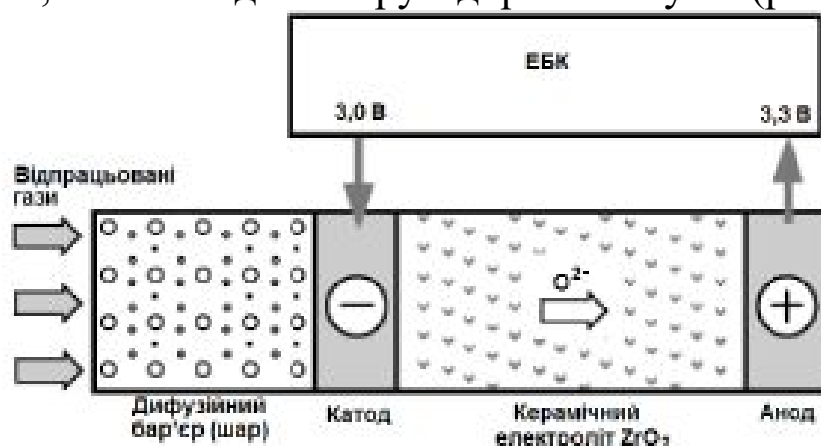


Рисунок 6.13 – Принцип роботи датчика складу суміші

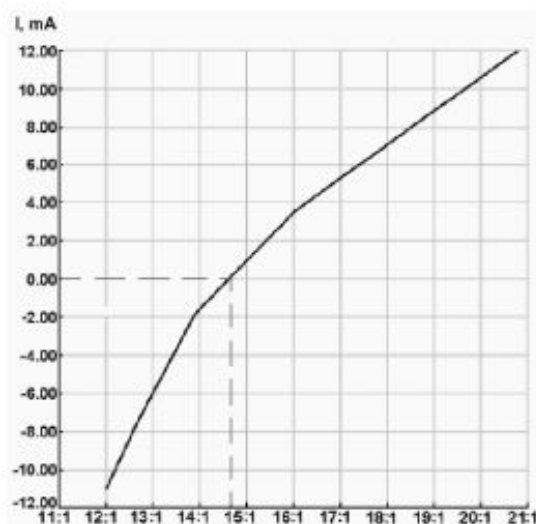


Рисунок 6.14 – Графік залежності вихідного струму датчика складу суміші від складу паливо-повітряної суміші при напрузі 0,3 В

При багатій паливо-повітряній суміші (малому вмісті кисню у відпрацьованих газах) генерується "негативний" струм, і ЕБК знижує напругу на датчику. При цьому кисень "накчується" з навколишнього середовища в систему випуску.

При збідненій паливо-повітряній суміші (високому вмісті кисню у відпрацьованих газах) змінюється напрямок протікання струму і, відповідно напруга на датчику збільшується більш 3.3 В. При цьому струм збільшується через прокачування кисню із системи випуску до атмосфери.

Отже, напруга на ДСС лінійно залежить від складу відпрацьованих газів (в тому числі і в зоні багатих сумішей). Це дозволяє ЕБК точно визначати склад суміші і здійснювати управління з максимальною ефективністю.

На рис. 6.15 представлена вихідна характеристика датчика складу паливно-повітряної суміші, тобто залежність струму датчика від прикладеної напруги при різному складі паливно-повітряної суміші.

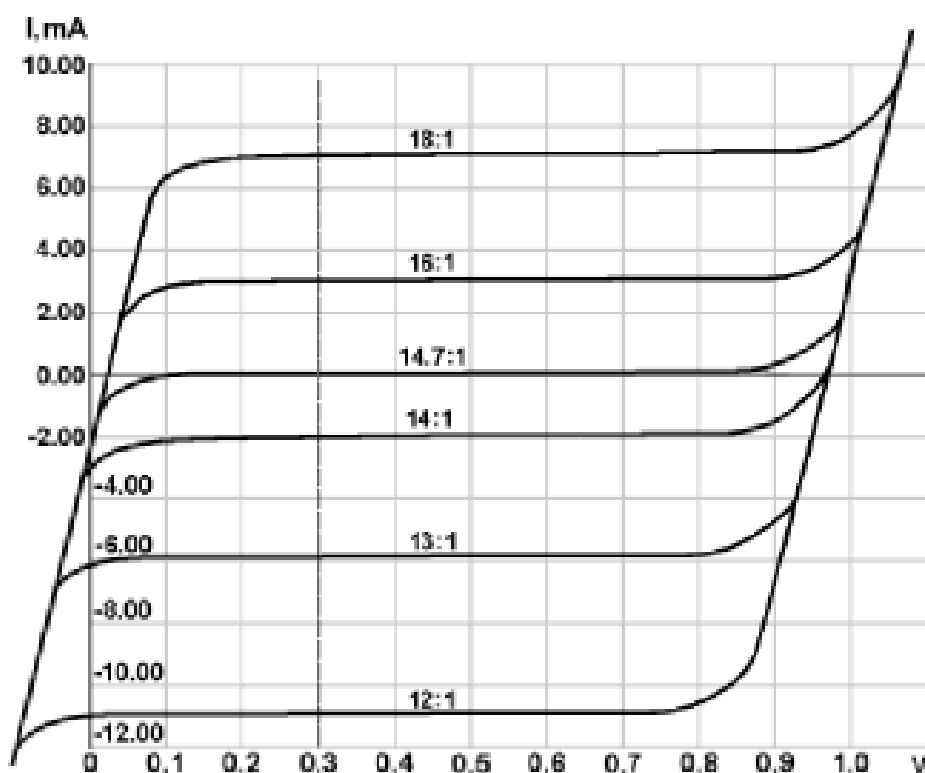


Рисунок 6.15 – Вихідна характеристика датчика складу суміші при різному її складі в залежності від напруги, що прикладена до датчика

Варто звернути увагу на те, що в значному діапазоні напруги струм через датчик залежить в основному від складу суміші.

Для збільшення рухливості іонів кисню значно збільшена робоча температура датчика складу суміші (від  $650^{\circ}\text{C}$  до  $850^{\circ}\text{C}$ ), що відчутно вище, ніж у звичайного вузькосмугового датчика кисню ( $400^{\circ}\text{C}$ ). Тому для нагрівання ДСС використовується нагрівач більшої потужності, на який подається модульована по амплітуді напруга та якою керує ЕБК. Після пуску холодного двигуна нагрівач зменшує час прогріву датчика і крім цього, також не допускає охолодження датчика при мінімальному випускному потоці. Досить часто живлення на нагрівач ДСС подається через окремий запобіжник. Максимальний струм підігрівача – близько 7 А.

### 6.6 Перевірка технічного стану датчика кисню

Ознакою несправності ДК є підвищена витрата палива, погіршення динаміки автомобіля, відчутне зниження потужності двигуна, можлива його нестійка робота на холостому ході або нестійкі оберти холостого ходу які постійно змінюються.

Розглянемо принцип перевірки технічного стану вузькосмугового цирконієвого датчика кисню, так як вони знайшли найбільшого застосування на автомобілях середньої цінової категорії, яких на наших дорогах переважна більшість.

Найбільш інформативний спосіб діагностики цирконієвого ВДК, це за допомогою осцилографа або мотортестера які приєднуються до дротів ВДК (рис. 6.16).

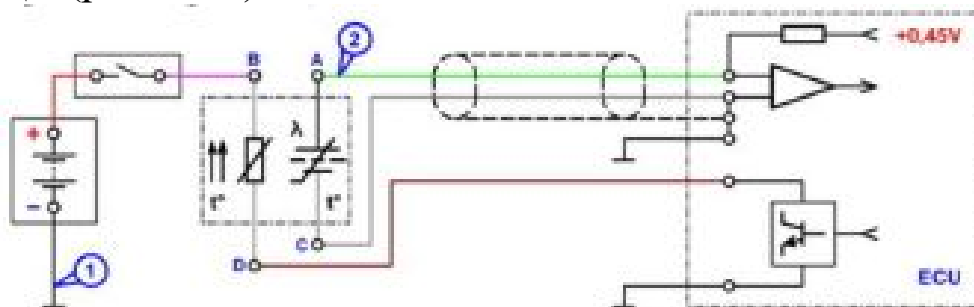


Рисунок 6.16 – Схема підключення осцилографа до цирконієвого ВДК: 1 - точка підключення чорного щупа вимірювального дроту осцилографа; 2 - точка підключення червоного (сигнального) щупа вимірювального дроту осцилографа

Технічний стан цирконієвого ВДК при аналізі осцилограми його вихідного сигналу оцінюють за наступними параметрами:

1. Розмах напруги вихідного сигналу повинен бути від 0,05-0,1 В до 0,8-0,9 В. За умови, що двигун прогрітий до робочої температури і система управління працює по замкнутій петлі зворотного зв'язку.

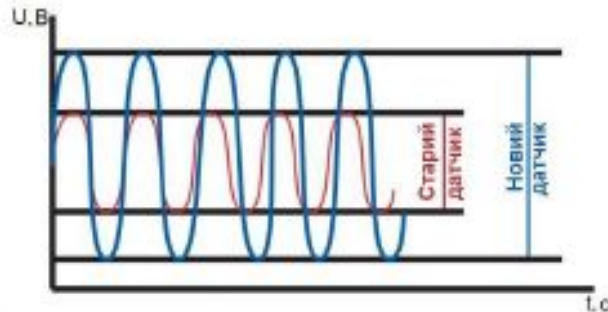


Рисунок 6.17 – Оцінка розмаху напруги вихідного сигналу нового та старого цирконієвого ВДК

2. Час переходу вихідної напруги ВДК від низького до високого рівня не повинно перевищувати 120 мс.

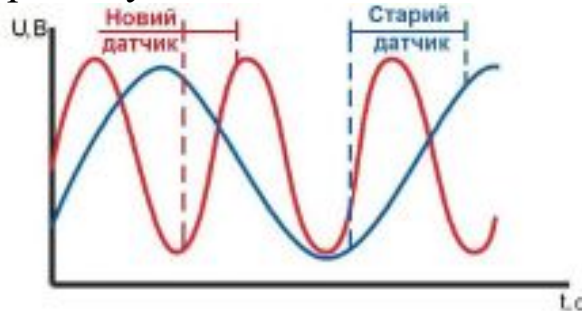


Рисунок 6.18 – Оцінка часу переходу вихідної напруги від низького до високого рівня нового та старого цирконієвого ВДК

3. Частота перемикавання вихідного сигналу ВДК на сталих режимах роботи двигуна повинна бути не рідше 1-2 разів на секунду



Рисунок 6.19 – Оцінка частоти перемикавання вихідного сигналу нового та старого цирконієвого ВДК

Розглянемо більш ретельно осцилограми вузькосмугового ДК.

Як вже раніше зазначалося розмах напруги вихідного сигналу справного ВДК досягає 800 - 850 мВ. При зниженому вмісті кисню у відпрацьованих газах, що викликано роботою двигуна на збагаченій паливо-повітряній суміші, ВДК генерує сигнал високого рівня напругою 800 - 900 мВ. При підвищеному вмісті кисню (збіднена паливо-повітряна суміш) датчик генерує сигнал низького рівня напругою 50 - 100 мВ (рис. 6.20).

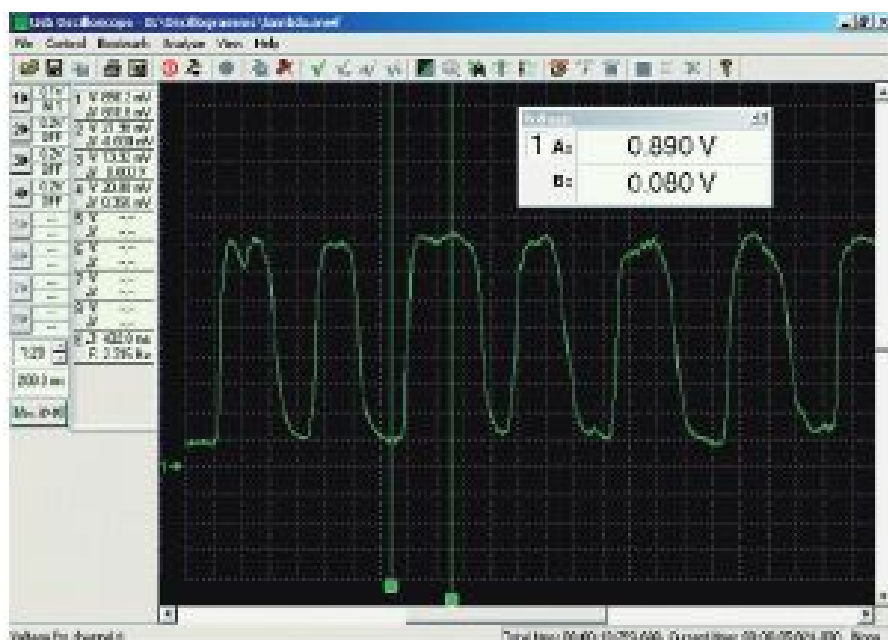


Рисунок 6.20 – Осцилограма вихідної напруги цирконієвого вузькосмугового датчика кисню

З рисунку 6.20 можемо бачити, що в даному випадку максимальна напруга вихідного сигналу ВДК дорівнює 890 мВ, а мінімальне значення дорівнює 80 мВ, тобто різниця напруг між двома значеннями становить 810 мВ.

Справний ВДК починає працювати тільки після прогріву чутливого елемента до температури вище  $350^{\circ}\text{C}$ , коли його вихідний електричний опір значно знижується, і він набуває здатність відхиляти опорну напруга, що надходить від ЕБК через резистор з постійним електричним опором. В ЕБК більшості виробників опорна напруга дорівнює 450 мВ. Такий ЕБК вважає ВДК готовим до роботи тільки після того, як внаслідок прогрівання, датчик набуває здатність відхиляти опорну напруга в діапазоні більш ніж  $\pm 150 - 250$  мВ.

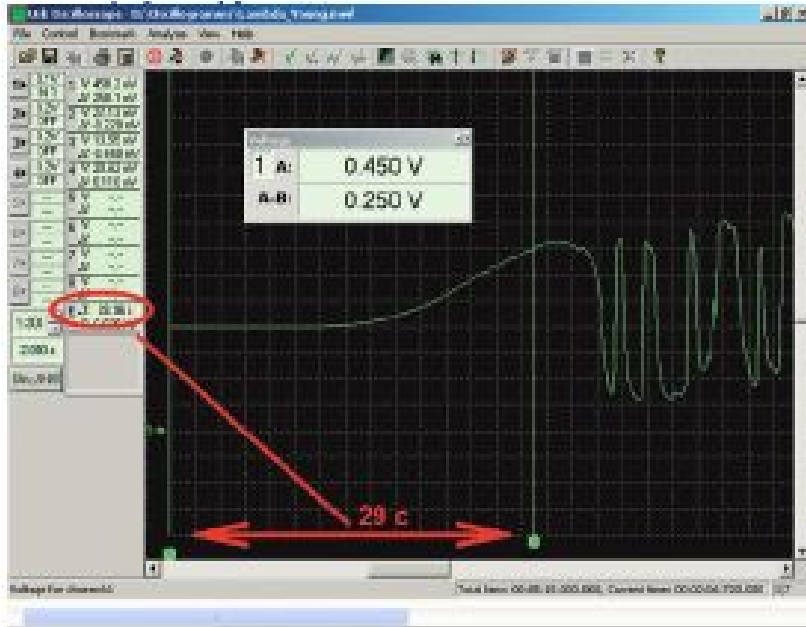


Рисунок 6.21 – Осцилограма вихідної напруги цирконієвого ВДК при пуску прогрітого до робочої температури двигуна

На рисунку 6.21 можемо бачити  $\Delta T = 29$  с – значення інтервалу часу між двома маркерами і в даному випадку відповідає часу прогріву ВДК; А – значення напруги в момент часу зазначений маркером і в даному випадку відповідає опорній нарузі, що надходить від ЕБК та дорівнює 450 мВ; А-В – значення різниці напруг між двома зазначеними маркерами моментами часу, і в даному випадку відповідає відхиленню опорної напруги, що надходить від ЕБК на величину, по досягненні якої ВДК вважається прогрітим і готовим до роботи та на осцилограмі він дорівнює 250 мВ.

Опорна напруга на сигнальному дроті ВДК в ЕБК може мати й інші значення. Наприклад, для ЕБК автомобілів Ford воно дорівнює 0 В, а для ЕБК автомобілів Daimler Chrysler – 5 В.

Треба відзначити, що вимірювання напруги вихідного сигналу датчику кисню ЕБК виконує відносно сигнальної «маси» датчика.

Сигнальна «маса» датчика кисню в залежності від його конструкції може бути виведена через окремий дріт на роз'єм датчика, або може бути з'єднана із корпусом датчика при його установці, в такому разі, вона автоматично з'єднується з «масою» автомобіля через різьбове з'єднання.

Сигнальна «маса» датчика кисню, яка виведена через окремий дріт на роз'єм датчика, в більшості випадків з'єднана із

«масою» автомобіля. Але зустрічаються ЕБК, де дріт сигнальної «маси» датчика кисню підключений не до маси автомобіля, а до джерела опорної напруги. У таких системах вимірювання напруги вихідного сигналу датчика кисню ЕБК виконує відносно джерела опорної напруги, до якого підключений кабель сигнальної «маси» датчика кисню.

Як вже раніше зазначалося вихідна напруга цирконієвого ВДК миттєво змінюється відносно значення 450 мВ, що відповідає стехіометричному складу паливо-повітряної суміші і відображається значення що відповідає багатій або бідній суміші. Внаслідок такої стрибкової зміни значення вихідної напруги цирконієвого ВДК, та деякої відстані від випускних клапанів газорозподільного механізму до місця розташування датчика призводять до певної інерційності системи, що не дозволяє безперервно підтримувати стехіометричний склад паливо-повітряної суміші.

Практично, при роботі двигуна на сталому режимі, склад суміші постійно відхиляється від стехіометричного в діапазоні  $\pm 2 - 3\%$  з частотою 1 - 2 рази в секунду. Цей процес чітко простежується по осцилограмі вихідної напруги сигналу ВДК (рис. 6.22).

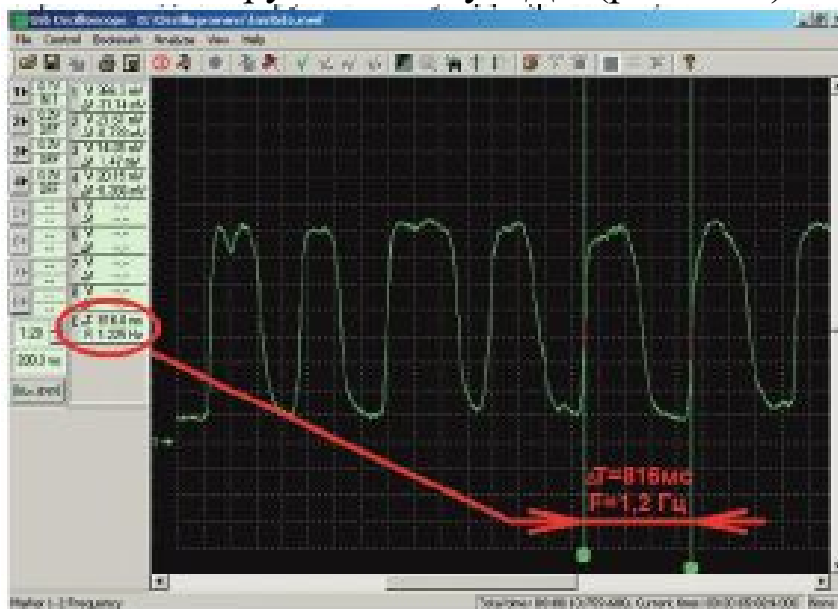


Рисунок 6.22 – Осцилограма вихідної напруги цирконієвого ВДК із зазначенням частоти зміни вихідного сигналу

На рис. 6.22 представлена осцилограма вихідної напруги цирконієвого ВДК де  $F$  – значення частоти, отримане шляхом перерахунку інтервалу часу між двома маркерами ( $1/\Delta T$ ) і в

даному випадку відповідає частоті перемикання вихідного сигналу датчика кисню із частотою 1,2 Гц.

Низька частота перемикання вихідного сигналу ВДК вказує на збільшений діапазон відхилення складу паливо-повітряної суміші від стехіометричного (рис. 6.23).

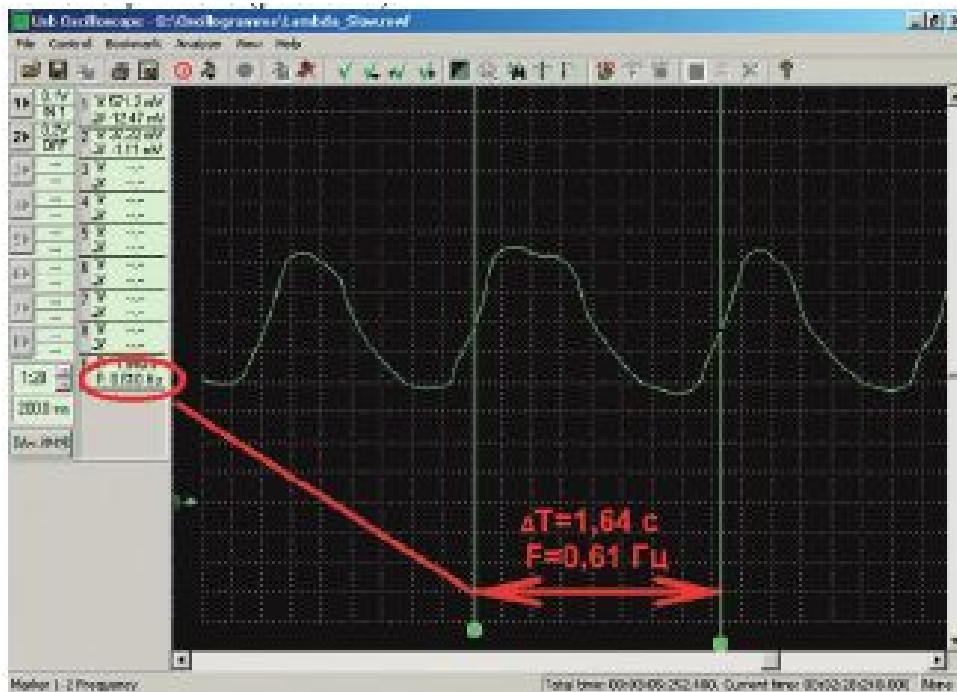


Рисунок 6.23 – Осцилограма вихідної напруги цирконієвого ВДК із зазначенням низької частоти зміни вихідного сигналу

Така несправність, як зображена на рис. 6.23 може бути викликана збільшеним часом переходу вихідної напруги датчика кисню від одного рівня до іншого через старіння або отруєння датчика. Час переходу вихідної напруги зонда від одного рівня до іншого не повинно перевищувати 120 мс (рис. 6.24).

Причиною значного збільшення часу переходу вихідної напруги датчика від одного рівня до іншого може стати отруєння або старіння цирконієвого ВДК.

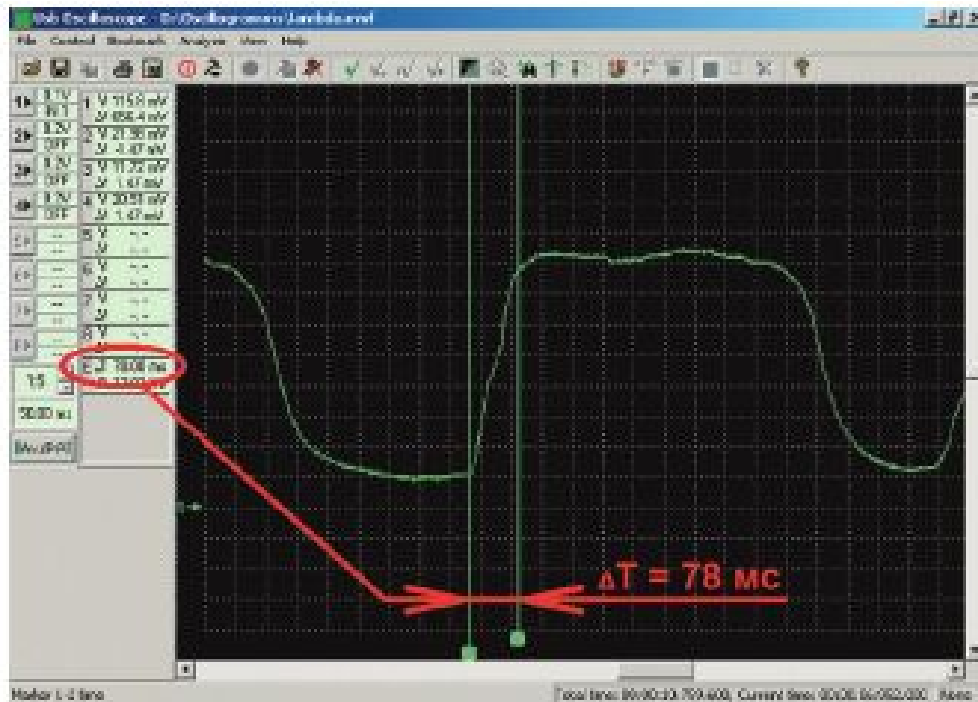


Рисунок 6.24 – Осцилограма вихідної напруги цирконієвого ВДК із зазначенням часу переходу вихідної напруги датчика від низького рівня до високого

Отруєння датчика може бути викликано застосуванням присадок до палива або мастило які містять свинець і деякі інші елементи, або застосуванням при ремонті двигуна деяких видів герметиків. Старіння датчика відбувається внаслідок його роботи в агресивному середовищі при високих значеннях температури.

Ресурс датчика кисню становить 20000 - 80000 км. Через старіння вихідний електричний опір ДК знижується при значно вищій температурі чутливого елемента до значення, при якому датчик набуває здатності відхиляти опорну напругу. Через збільшення вихідного електричного опору розмах вихідної напруги сигналу ДК зменшується.

Старіючий ДК легко можна виявити за осцилограмою напруги його вихідного сигналу на таких режимах роботи двигуна, коли потік і температура відпрацьованих газів знижуються. Це режим холостого ходу і малих навантажень. Старіючий ДК практично все ще працює на рухомому автомобілі, але як тільки навантаження на двигун знижується (холостий хід), розмах сигналу швидко починає зменшуватися іноді навіть до зникнення коливань (рис. 6.25).

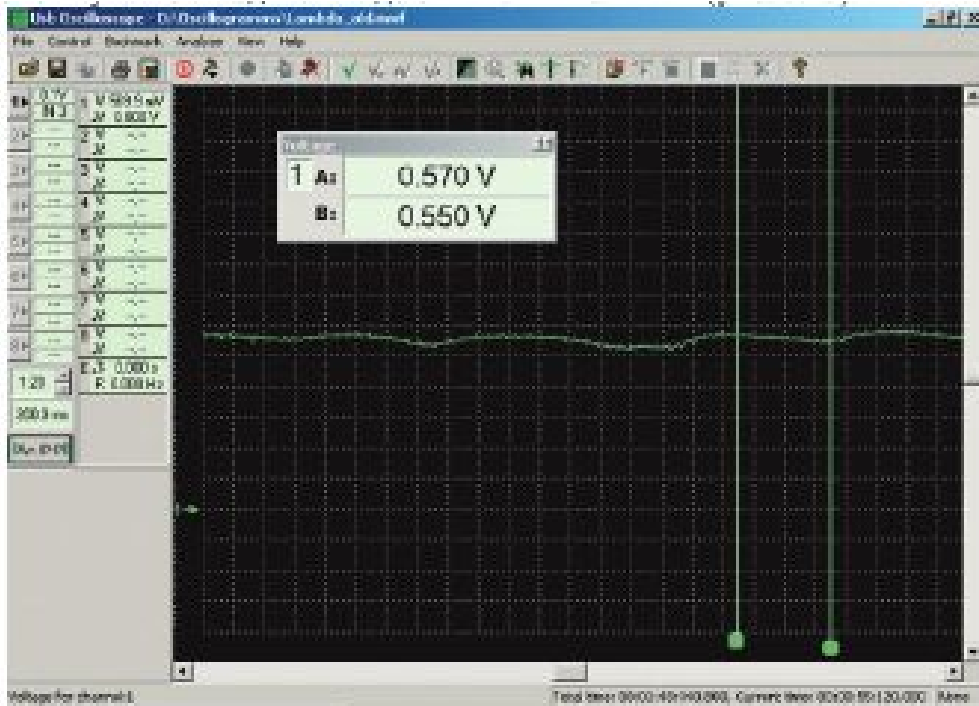


Рисунок 6.25 – Осцилограма вихідної напруги старіючого цирконієвого ВДК

На рис. 6.25 можемо бачити, що максимальне значення напруги дорівнює 570 мВ, а мінімальне – 550 мВ. Напруга вихідного сигналу стає майже стабільним, його значення стає близьким опорної напруги 300 - 600 мВ.

У разі значного підвищення температури чутливого елемента вихідний електричний опір ДК дещо знижується, і його здатність відхиляти опорну напруга зростає. Цією особливістю датчика діагност може скористатися, підвищивши температуру і швидкість потоку відпрацьованих газів шляхом збільшення або навантаження, або обертів двигуна, розігріваючи таким чином чутливий елемент зонда до більш високої температури. Якщо в такому режимі роботи двигуна осцилограма вихідного сигналу набуває звичний вигляд (рис. 6.26), то це вказує на те, що ДК все ще здатний забезпечити близький до заданого склад паливо-повітряної суміші під час руху автомобіля.

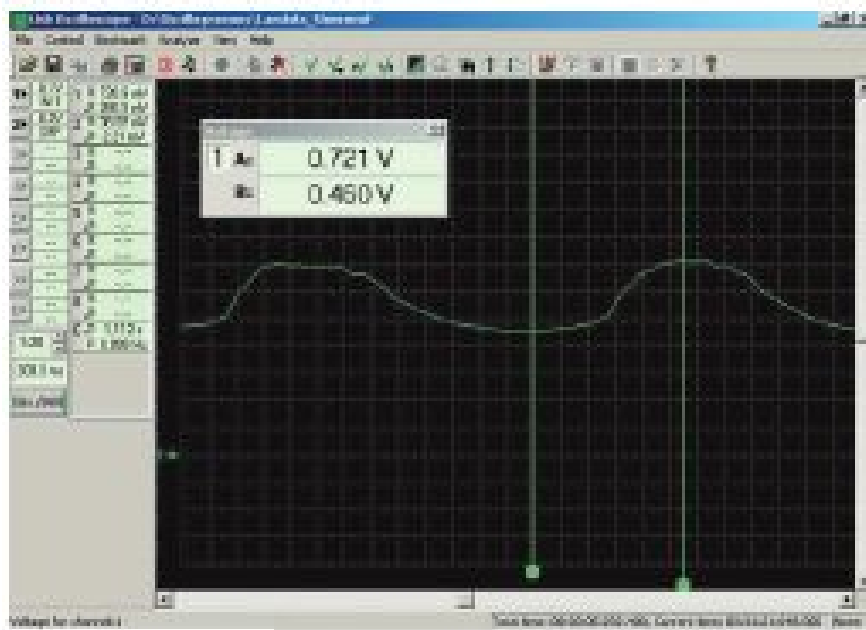


Рисунок 6.26 – Осцилограма вихідної напруги старіючого цирконієвого ВДК при збільшенні навантаження або обертів двигуна

При цьому власник автомобіля часто не помічає підвищеної витрати палива, зниження потужності і прийомистості двигуна, але його робота на холостому ході може бути нестійкою, може з'являтися нестійкість обертів холостого ходу.

Іноді зустрічається несправність ВДК, яка викликає появу викидів напруги негативної полярності як на рис. 6.27.

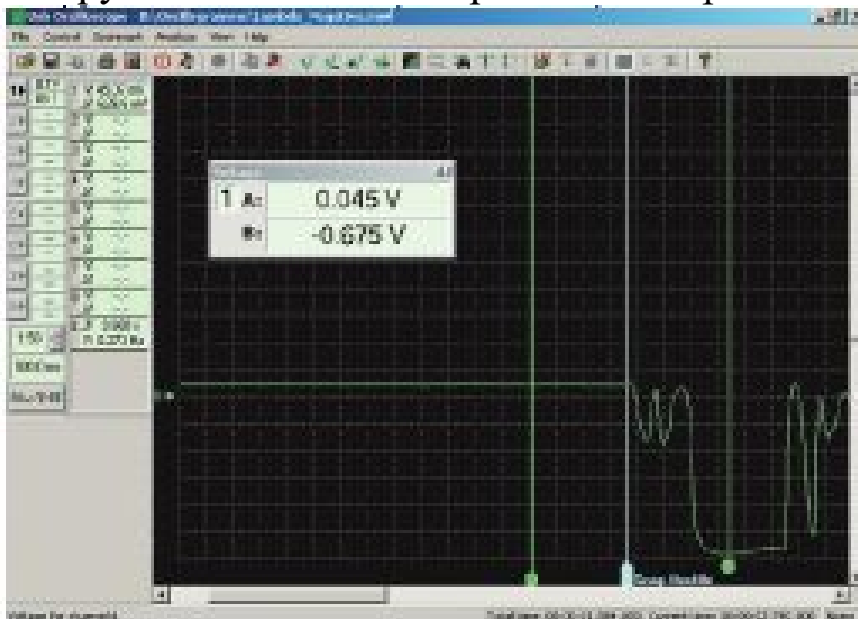


Рисунок 6.27 – Осцилограма вихідної напруги несправного цирконієвого ВДК

На рис. 6.27 можемо бачити, що напруга вихідного сигналу датчика кисню під час роботи двигуна на холостому ході становить 45 мВ (маркер А) и в момент різкого відкриття дросельної заслонки (позначений блакитним маркером Snap throttle) тобто при різкій зміні режиму роботи двигуна вихідний сигнал ДК становить - 675 мВ (маркер В).

У разі появи такої несправності, витрата палива дуже сильно зростає, прийомистість двигуна значно знижується, при різких перегазовках спостерігаються викиди сажі з вихлопної труби, а робоча поверхня ізоляторів свічок запалювання покривається сажею.

Така несправність виникає внаслідок внутрішньої, а іноді і зовнішньої розгерметизації ДК. Чутливий елемент датчика порівнює рівень вмісту кисню у відпрацьованих газах і в атмосферному повітрі.

У разі виникнення значної різниці рівнів вмісту кисню в камері з атмосферним повітрям і в відпрацьованих газах, датчик генерує напруга 1 В. Полярність цієї напруги залежить від того, в який з камер знизився рівень вмісту кисню.

При справній системі рівень вмісту кисню змінюється тільки з боку відпрацьованих газів і тільки в сторону зменшення. Рівень вмісту кисню в камері з атмосферним повітрям при цьому виявляється значно вище рівня вмісту кисню у вихлопних газах, внаслідок чого ДК генерує напруга 1 В позитивної полярності.

У разі розгерметизації ДК, в камеру з атмосферним повітрям проникають відпрацьовані гази з низьким вмістом кисню. На режимі гальмування двигуном (тобто закрита дросельна заслонка при обертанні двигуна із високою частотою, подача палива при цьому відключена), у вихлопну систему двигуна викидається майже чисте атмосферне повітря.

В такому випадку рівень вмісту кисню у вихлопній системі різко зростає і його рівень в атмосферній камері датчика виявляється значно нижче рівня вмісту кисню в відпрацьованих газах, внаслідок чого датчик генерує напругу 1 В негативної полярності.

ЕБК в цьому випадку вважає ВДК справним, так як незабаром після пуску двигуна і прогріву датчик відхилив опорну напругу і

знизив її до 0 В. Вихідна напруга ДК напругою 0 В свідчить про близький рівень вмісту кисню в відпрацьованих газах і в розгерметизованій атмосферній камері ДК.

На ЕБК надходить сигнал ДК низького рівня, що для нього є свідченням збідненої паливо-повітряної суміші. Внаслідок цього ЕБК збагачує паливо-повітряну суміш. Таким чином, розгерметизація ВДК призводить до значного збагачення паливо-повітряної суміші. При цьому багато систем самодіагностики виявити дану несправність датчика не здатні.

### **6.7 Контрольні питання**

1. Що показує коефіцієнтом надлишку повітря? Що таке стехіометричний склад паливо-повітряної суміші?
2. Які значення повинні бути у коефіцієнта надлишку повітря в залежності від режимів і умов роботи двигуна?
3. Що таке режим управління подачею палива із зворотним зв'язком? Для чого він потрібен?
4. У яких випадках використовується режим управління подачею палива без зворотнього зв'язку?
5. Чому в сучасних автомобілях використовується два датчика кисню (для рядного двигуна)?
6. Які існують види датчиків кисню?
7. Чому датчики кисню називають вузькосмуговими та стрибковими?
8. Чому датчики кисню називають широкосмуговими?
9. Який принцип роботи цирконієвого датчика кисню?
10. Перелічіть діапазони напруг вихідного сигналу цирконієвого ДК в залежності від складу паливо-повітряної суміші?
11. Який принцип роботи титанового датчика кисню?
12. Які переваги та недоліки титанових ДК?
13. Який принцип роботи широкосмугового датчика кисню?
14. Яка залежність між током насосної камери ШДК та складом паливо-повітряної суміші?
15. Що спонукало до винаходу та впровадження датчиків збідненої суміші?
16. Який принцип роботи датчиків збідненої суміші?
17. Який основний недолік датчиків збідненої суміші?
18. Який принцип роботи датчика складу суміші?

19. В яких випадках в датчику складу суміші генерується "негативний" або "позитивний" струм і що при цьому відбувається?

20. За якими параметрами оцінюють технічний стан цирконієвого ВДК?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пиндус Ю.І., Заверуха Р.Р. Електричне та електронне обладнання автомобілів: навч. посіб. (частина II). Тернопіль : ТНТУ, 2016. 163с.  
 – Режим доступу:  
[http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/18171/1/ЕЕОА\\_Lect\\_%D0%86I\\_FullText.pdf](http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/18171/1/ЕЕОА_Lect_%D0%86I_FullText.pdf)

2. Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андрєєв В. І., Голдун В. Ю. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами : навч. посіб. Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2013. 132 с.  
 – Режим доступу:  
<https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/172/1/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%20%D0%BA%D0%B5%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BC%D0%B8%20%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8.pdf>

3. Кашканов А. А, Кужель В. П., Грисюк О.Г. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2010, 230 с. – Режим доступу:  
[https://atm.vntu.edu.ua/subject/books/ІКСАТ/Lec\\_Lab\\_ІКС\\_АТ\\_2010.pdf](https://atm.vntu.edu.ua/subject/books/ІКСАТ/Lec_Lab_ІКС_АТ_2010.pdf)

4. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: в 6 т. Харків : Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004. Т3 : Комп'ютерні системи керування ДВЗ. 344 с.  
 – Режим доступу: <http://mbk.mk.ua/wp-content/uploads/2020/05/1553523240.pdf>

5. Гавриляк М.С. Основи автоматики та систем управління : навч. посіб. Чернівці : Чернівець. нац. ун-тет, 2022, 211 с.  
 – Режим доступу:  
<https://archer.chnu.edu.ua/handle/123456789/4001?show=full>

6. Власюк Г.Г., Співак В.М., Трапезон К.О., Швайченко В.Б. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації : навч. посіб. Київ : Освіта України, 2010. 159 с.  
 – Режим доступу:

<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/2ca76600-f713-44ad-aeef-1cc214618646/content>

7. В'ячеслав Шавкун. Технологічні процеси сервісу транспортних засобів з електричним та гібридним приводом : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. 123 с.

— Режим доступу:  
<https://eprints.kname.edu.ua/61839/1/%D0%A8%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D1%83%D0%BD%2C%2088%D0%9B%2C%202022%2C%20pdf.pdf>