

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

другого магістерського рівня

на тему: **«Оптимізація налаштувань контролера бензинового двигуна за допомогою пристрою ECUMASTER»**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-63

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Кухарський Н.І.

(Прізвище та ініціали)

Керівник: Крайник Л.В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Шарибура А. О.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 621.433.052

Кухарський Н.І. «Оптимізація налаштувань контролера бензинового двигуна за допомогою пристрою ECUMASTER»

//Дипломна робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування. 2024. – 77с.

В роботі викладено будову та принцип дії двигунів з іскровим запалюванням. Також проаналізовано основні підсистеми керування двигунами SI, акцентуючи увагу на характеристиці підсистем контролю наповнення, сумішоутворення і займання палива. Представлені найважливіші аспекти оптимізації алгоритмів керування. На прикладі системи живлення Motronic розкрито можливості управління робочими процесами двигунів з іскровим запалюванням, наведено характеристики датчиків які використовуються в цій системі. Корисна мета була досягнута шляхом аналізу роботи контролерів двигунів з іскровим запалюванням. Охарактеризовано та визначено пристрій, що використовується для оптимізації роботи двигуна та датчики, що використовуються під час дослідження.

Представлено принципи керування дозуванням палива, параметрами запалювання, параметрами пуску двигуна, збагачення суміші, холостого ходу, фаз газорозподілу. Детально розглянуто процес оптимізації роботу вибраного двигуна SI за допомогою пристрою ECUMaster EMU Black.

Таблиць 6; рисунків 26; бібліогр. джерел 26

ЗМІСТ

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. КЕРУВАННЯ ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ.....	9
1.1. Оптимізація алгоритмів управління двигунами внутрішнього згоряння....	9
1.2. Управління робочими процесами двигунів на прикладі систем Motronic	14
1.2.1. Основна інформація про конструкцію та експлуатацію системи Motronic.....	14
1.2.2. Датчики, які використовуються в системі Motronic	19
1.3. Контролери - вимоги, конструкція та метод обробки даних.....	21
РОЗДІЛ 2. УПРАВЛІННЯ РОБОЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ДВИГУНІВ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМ MOTRONIC	28
2.1. Електронне управління та регулювання.....	28
2.2. Електронна діагностика.....	40
2.3. Передача даних між електронними системами.....	53
2.4 Теоретичне дослідження ударного впливу крапель струменя	39
Висновки за розділом	42
РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	61
3.1. План і програма аналізу.....	61
3.2. Характеристики пристрою ECUMaster EMU Black.....	61
3.3. Доступні області оптимізації.....	62
3.4. Датчики, що використовуються під час дослідження.....	68
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ НАЛАШТУВАНЬ КОНТРОЛЕРІВ ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ECUMASTER EMU BLACK.....	73
4.1. Контроль дозування палива.....	73
4.2. Контроль параметрів запалювання.....	78
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	82
5.1. Безпека праці під час діагностування і ремонту автомобілів.....	82
5.2. Заходи електробезпеки у відділенні діагностики.....	84
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	87

РОДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92

Двигуни з іскровим запалюванням - це тип двигунів внутрішнього згоряння з примусовим запалюванням, які спалюють паливно-повітряну суміш. Це дає можливість конвертувати енергію палива в кінетичну енергію (рух). Приготування паливно-повітряної суміші протягом багатьох років реалізовувалася за допомогою карбюраторів. Роль карбюратора полягає у створенні горючої суміші у впускному каналі (поступає в нього повітря, присутність якого необхідна в процесі горіння). У двигунах MPI і SPI (з непрямим уприскуванням палива) паливно-повітряна суміш створюється подібним чином в карбюраторних двигунах.

Принцип дії двигунів з іскровим запалюванням з тих пір істотно не змінився, коли вони були вперше використані - понад сто років тому. Проте сучасні двигуни SI не мають багато спільного з ними за конструкцією та роботою прототипів. Технологія двигунів постійно розвивається і двигуни стають дедалі потужнішими. Однак за останню чверть століття особлива увага приділяється не тільки потужності, але й економії під час експлуатації та зменшенню негативних ефектів вплив на навколишнє середовище. Зміна стала ключовим аспектом у розвитку систем управління двигуна від механічних до електронних.

Електронне вприскування палива та запалювання стали основними рішеннями, дозволяючи розробляти двигуни з більшою загальною ефективністю (більша питома потужність) і в той же час відповідає правовим стандартам у цій галузі за допустимими викидами відпрацьованих газів. Систематично зростає ступінь інтеграції запровадження та функцій електронних систем, що стало можливим завдяки все більшій обчислювальній потужності процесорів, а також збільшення ємності напівпровідникової пам'яті. Тому вважалося доцільним проаналізувати роботу контролерів двигунів з іскровим запалюванням.

Метою даної роботи був аналіз роботи контролерів двигуна з іскровим запалюванням.

Пізнавальною метою роботи був аналіз сучасного стану знань і технологій в області конструювання та експлуатації двигунів з іскровим запалюванням.

Для досягнення основної мети роботи необхідно було виконати **наступні завдання:**

- проаналізувати ключові питання щодо сучасного стану знань і технологій в галузі керування та експлуатації двигунів з іскровим запалюванням;
- охарактеризувати наявні області оптимізації алгоритмів керування;
- оптимізувати налаштування контролерів двигуна з іскровим запалюванням за допомогою вибраного пристрою ECUMaster EMU Black.

РОЗДІЛ 1. КЕРУВАННЯ ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1.1. Оптимізація алгоритмів управління двигунами внутрішнього згоряння

Електронні контролери сучасних автомобільних двигунів керують як процесом надлишкового повітря, вприску бензину, запалюванням, так і їх тепловим станом. Дуже часто вони також обробляють багато інформації, яка є корисною для інших контролерів та відправляють її по локальній мережі. Залежно від комплектації автомобіля вони також можуть управляти багатьма пристроями, наприклад, компресором в системі кондиціонування. Загальною практикою є використання систем контролерів для блокування роботи двигуна з метою захисту від крадіжки автомобіля (імобілайзер) [1,2].

Як найважливіші критерії оцінки приводної системи для користувача часто виділяють витрату пального, чутливість до керування, а також викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Найбільш загальним з вказаних понять є чутливість до керування, оскільки вона описує різні параметри як самого двигуна, так і транспортного засобу в цілому, які визначаються в результаті вимірювань вибраних величин, проведених у межах формалізованих випробувань на дорозі або на випробувальних стендах. До параметрів, що характеризують динамічні властивості двигуна, можна віднести похідну моменту обертання (S_1), похідну швидкості обертання (S_2), коефіцієнт еластичності швидкості обертання (E_n) та коефіцієнт еластичності моменту (E_{M_0}). [3]. Похідна моменту обертання (S_1) відносно кута відхилення дросельної заслінки (або шляху відкриття іншого елемента керування), коли двигун навантажений певним відомим моментом обертання, описується залежністю:

$$S_1 = \frac{dM_0}{d\alpha} \quad (1.1)$$

Де d – діаметр;

M_0 – момент обертання;

α – кут відхилення дросельної заслінки.

Похідна швидкості обертання (S_2) відносно кута відхилення дросельної заслонки (або шляху відкриття іншого елемента керування), коли двигун не навантажений, може бути визначена за допомогою формули:

$$S_2 = \frac{dn}{d\alpha} \quad (1.2)$$

де n - оберти двигуна.

Під час вимірювань двигун залишається ненавантаженим, що дозволяє оцінити його динаміку, незалежно від того, який приймач буде його приводити в рух. Робота конструкторів, пов'язана зі зменшенням масового моменту інерції, зведеного до вала двигуна, призводить до збільшення значення коефіцієнта S_2 .

Ще один, раніше згаданий коефіцієнт – коефіцієнт еластичності швидкості обертання (E_n). Він представляє собою відношення швидкості обертання для максимальної потужності до швидкості обертання для максимального моменту обертання у випадку, коли дросельна заслонка повністю відкрита (робота на зовнішній характеристиці), і описується залежністю:

$$E_n = \frac{n_{Nmax}}{n_{M_0max}} \quad (1.3)$$

де n_{Nmax} - швидкість обертання при максимальній потужності,

n_{M_0max} - швидкість обертання при максимальному моменті обертання.

Коефіцієнт еластичності моменту (E_M) - це відношення максимального моменту обертання до моменту обертання для максимальної потужності також у випадку, коли дросельна заслінка повністю відкрита. Визначається він за допомогою формули:

$$E_{M_0} = \frac{M_{0max}}{M_{Nmax}} \quad (1.4)$$

де M_{0max} - максимальний момент обертання,

M_{Nmax} - момент обертання для максимальної потужності при повністю відкритій дросельній заслінці.

Важливі для користувача тягові параметри, пов'язані з керуванням двигуном, включають, наприклад, час прискорення від моменту руху з місця до

досягнення бажаної швидкості при перемиканні передач та час прискорення від однієї швидкості до іншої (на одній передачі). Під час оцінки двигуна також слід враховувати такі параметри, як час досягнення температур, які дозволяють отримати раніше згадані параметри при холодному запуску, стабільність обертової швидкості після різкого відвантаження або завантаження двигуна, а також стабільність обертової швидкості на холостому ходу в різних теплових умовах [3,4].

Особи, які розробляють алгоритми, повинні також враховувати окремі обмеження, пов'язані з масою певних компонентів відпрацьованих газів (які виділяються під час дорожніх випробувань) та рівнем шуму. Під час досліджень, які проводяться на випробувальних стендах для підвіски, робота двигуна регулюється зміною напрямів управління. Основними складовими напрямів управління є: доза пального, величина відхилення дросельної заслінки (або іншого елемента, що впливає на кількість повітря, що потрапляє до двигуна), енергія іскри та кут випередження запалювання. У точках робочого поля двигуна, які оптимізуються під час випробувань на випробувальних стендах, надзвичайно важливо досягнення якнайменшої витрати пального. У великій частині робочого поля двигуна, яке не покрите офіційними тестами, проводяться статичні аналізи викидів компонентів відпрацьованих газів, а також розраховується витрата пального з метою якнайменшого їхнього значення з одночасним збереженням передбаченої динаміки автомобіля.

Головний показник якості згоряння представляє собою кількість пального, необхідного для проведення тесту ($J_x(u)$), яку можна визначити за допомогою формули:

$$J_x(u) = \int_0^T m_f[u(t), M_o(t), n(t)] dt \quad (1.5)$$

де m_f - миттєве споживання пального;

$u(t)$ - вектор керування;

$M_o(t)$ - крутний момент;

$n(t)$ - швидкість обертання;

t – час;

T - час тривання тесту.

Отже, проблема оптимізації управління полягає у знаходженні мінімуму функціоналу ($J_x(u)$) при наступних обмеженнях [3]:

$$1) \frac{1}{s} \int_0^T HC[u(t), M_o(t), n(t)] dt \leq HC^* \quad (1.6)$$

$$2) \frac{1}{s} \int_0^T CO[u(t), M_o(t), n(t)] dt \leq CO^* \quad (1.7)$$

$$3) \frac{1}{s} \int_0^T NO_x[u(t), M_o(t), n(t)] dt \leq NO_x^* \quad (1.8)$$

4) кута випередження запалювання, який забезпечує відсутність детонаційного згоряння,

де s – маршрут тесту;

HC , CO , NO_x - фактичні дорожні викиди (у $г/км^{-1}$) вуглеводнів оксиду вуглецю і оксидів азоту, визначені під час випробувань на випробувальному стенді;

HC^* , CO^* , NO_x^* - допустимі дорожні викиди (у $г/км^{-1}$) вуглеводнів, оксиду вуглецю і оксидів азоту, визначені під час випробувань на випробувальному стенді.

Тести, які моделюють водіння позаміського та міського типу, чітко визначені в законодавстві кожної країни чи групи країн. Однак управління, яке враховує як критерій оптимізації вмісту окремих шкідливих речовин у відпрацьованих газах, так і витрат пального, може бути відповідним для певного типу випробувань, але не для інших. У випадку умов, які не підпадають під тест, зазвичай критерієм оптимізації вважається мінімальне споживання пального для статичних навантажень на двигун. Виняток становить положення повного відкриття дросельної заслінки. У цьому випадку параметри підбираються так, щоб отримати максимальну потужність. Результатом процесу оптимізації є залежності, які пов'язують напрям управління (його окремі компоненти) з параметрами, які характеризують стан двигуна:

$$\lambda = \lambda(n, M_o) \quad (1.9)$$

$$KWZ = KWZ(\lambda, n, M_o) \quad (1.10)$$

де λ - коефіцієнт надлишку повітря;

KWZ - кут випередження запалювання.

Це приклад відкритого керування, оскільки швидкість обертання (n) і момент обертання (M_o) є спостережуваними параметрами, які не налаштовуються безпосередньо, а через використання коефіцієнта надлишку повітря (λ) та кута випередження запалювання (KWZ). Процедура визначення часу відкриття форсунки для статичних навантажень базується на збереженій в основній пам'яті таблиці керування. У таблиці інформація знаходиться на основі значень обертової швидкості та величини, що характеризує навантаження, наприклад, температури повітря чи вакууму у впускному колекторі. Таблиця містить дискретні значення, які зчитуються з відповідним кроком за допомогою алгоритмів, які зберігаються в контролері. Робочий режим двигуна рідко відповідає вузлам таблиці, тому проміжні значення обчислюються за допомогою методів інтерполяції. Залежність часу вприску від температури реалізується за допомогою використання таблиць корекційних коефіцієнтів.

Алгоритми контролерів включають як вимірювальні траси, так і виконавчі пристрої (насос пального, форсунки, кроковий двигун для стабілізації холостого ходу). До контрольованих процесів можна віднести: нагрівання і запуск, роботу під навантаженням, холостий хід, гальмування двигуном та прискорення. Існують алгоритмічні рішення, які враховують дослідження поведінки водіїв, наприклад, типові для певної особи форми прискорення реєструються в пам'яті контролера, а потім відтворюються в аналогічних ситуаціях з невеликим часовим відставанням. Цей тип керування можливий лише для дросельних заслінок, які мають електричне керування. [4, 5, 6]

1.2. Управління робочими процесами двигунів на прикладі систем Motronic

1.2.1. Основна інформація про конструкцію та експлуатацію системи Motronic

Motronic – це назва системи, що дозволяє керувати та регулювати двигуни з іскровим запаленням за допомогою лише одного контролера. Перші системи цього типу були випущені компанією Bosch у 1979 році і включали в себе електронне управління запалюванням та вприском пального. З розвитком мікроелектроніки збільшувалася ефективність таких систем, що призводило до розширення їхньої області застосування та складності систем Motronic. Прототипом перших систем Motronic була L-Jetronic з одночасним вприском та картою кутів запалювання, обладнаною обертовим розподільником високої напруги (ROV). З часом механічний привод розподільника ROV був замінений електронним розподільником запалювання RUV. Спочатку системи Motronic впроваджувалися лише в автомобілях преміум-класу через їхню високу ціну. У сучасності ці системи широко використовуються у нових двигунах автомобілів, зокрема через зростання вимог до захисту навколишнього середовища від викидів шкідливих газів [16,18].

Система Motronic (рис. 1.1) збирає інформацію від регуляторів та датчиків, яку потім використовує для регулювання та управління двигуном за допомогою відповідних керуючих змінних. Регулятори збирають налаштування, визначені водієм автомобіля, наприклад, положення важеля регулятора швидкості руху, положення перемикача кондиціонера або положення ключа в замку запалювання. Датчики, з іншого боку, мають завдання перетворювати хімічні та фізичні величини для передачі інформації про тимчасовий стан роботи двигуна. До таких параметрів можна віднести, наприклад, швидкість руху, положення валу розподільчого механізму, обертову швидкість колінчастого вала, коефіцієнт надлишку повітря (λ), кут відхилення дросельної заслінки, тиск у впускному колекторі, масу впускного повітря в циліндри або температуру двигуна. Вхідні сигнали датчика можуть бути аналоговими, імпульсними або цифровими.

Вхідні системи в контролері та в багатьох датчиках призначені належним чином обробляти всі отримані сигнали. Вони повинні відповідати рівню напруги та адаптувати сигнали так, щоб їх можна було подальше обробити в мікроконтролері контролера. Сигнали вхідного типу у цифровому вигляді безпосередньо зчитуються та зберігаються як цифрові дані. Сигнали аналогового характеру перетворюються в аналого-цифровому перетворювачі (А/С) на цифрові значення [2, 13, 16, 18].

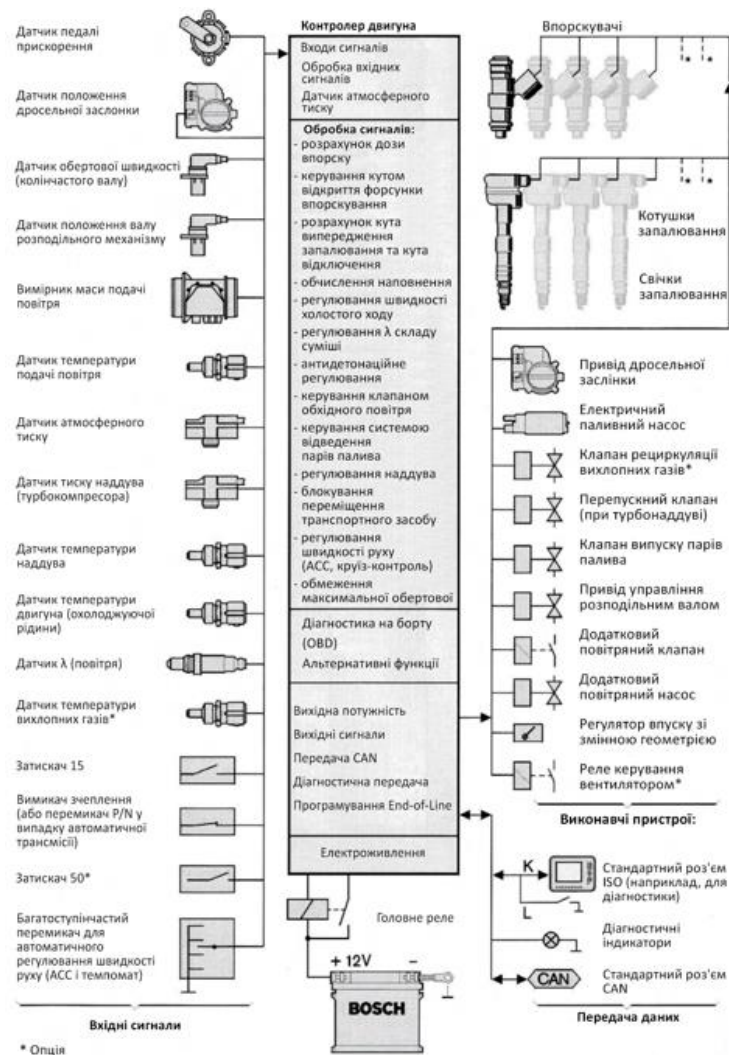


Рисунок 1.1 – Елементи електронної системи системи Motronic

Контролер на основі вхідних сигналів ідентифікує тимчасовий стан роботи двигуна, вимоги, які ставляться до додаткових пристроїв та водія автомобіля, і на цій основі виконує обчислення керуючих сигналів для виконавчих пристроїв.

Завдання контролера двигуна представлені у вигляді алгоритмів керування, які складають програмне забезпечення, яке зберігається в пам'яті контролера.

До основних функцій системи Motronic можна віднести визначення оптимального моменту запалювання та дозування палива до подаваного повітря. Поєднання цих завдань в одній системі дозволяє досягти максимальної взаємної адаптації між запалюванням та впорскуванням.

Завдяки постійному зростанню потужності сучасних мікропроцесорів можливе впровадження все новіших функцій у системи Motronic, які поліпшують процеси регулювання та управління двигунами. З року в рік також зростають вимоги щодо викидів небезпечних речовин у відпрацьованих газах, і їх виконання стає можливим завдяки поліпшенню процесів управління двигуном. До функцій, які можуть сприяти досягненню цього стану речей, можна віднести, зокрема, рециркуляцію відпрацьованих газів для зменшення викидів NOx, антидетонаційне регулювання, керування відведенням парів пального (провітрювання бака), регулювання λ (складу паливно-повітряної суміші), регулювання обертів холостого ходу, а також керування клапанами системи додаткової подачі повітря для швидкого забезпечення ефективної роботи каталізатора. У випадку підвищених вимог до приводу, Motronic може бути доповнений рядом інших функцій, таких як обмеження швидкості руху та обертів (з метою захисту двигуна від пошкоджень та підвищення безпеки руху автомобіля), керування розподілом газу (з метою зменшення витрати пального та викидів газів), відключення впускних трубопроводів (з метою забезпечення керування моментом обертання та потужністю двигуна) і керування турбонаддувом. Зростаюча тенденція в розвитку автомобілів – це підвищення комфорту для водія. Як приклад типових функцій, які підвищують зручність користування, можна вказати, зокрема, згладжування різких змін навантаження (згладжування впливів водія), адаптацію обертового моменту до змін передачі в автоматичній коробці передач, адаптивне керування швидкістю ACC (Adaptive Cruise Control) або керування швидкістю за допомогою круїз-контролю.

Компоненти виходу постачають необхідний струм для налаштування виконавчих пристроїв (наприклад, форсунок, котушок запалювання, клапану рециркуляції відпрацьованих газів). Ними керують сигнали, розраховані мікроконтролером. Вбудовані діагностичні функції в контролері перевіряють, чи система Motronic (контролер, датчики та виконавчі пристрої) не вказує на помилки в роботі (дефекти). Виявлені помилки зберігаються в контролері (в пам'яті для діагностики). Крім того, він також вводить аварійний режим, тобто резервні процедури дії. Водія повідомляють про конкретну помилку за допомогою дисплея або діагностичних лампочок. Отримання інформації про збережені помилки можливе за допомогою стандартного діагностичного роз'єму. Спочатку електронна діагностика мала на меті полегшити контроль транспортних засобів, який проводився на автосервісних станціях. Після введення системи бортової діагностики OBD - On Board Diagnose (відповідно до американського законодавства) їй були надані діагностичні функції, що полягають в перевірці всієї системи двигуна на наявність значущих помилок викидів газів, а потім відображенні виявлених помилок. Ці вимоги також були враховані в європейському законодавстві (EOBD) [4, 16, 18].

Через системи передачі даних, такі як мережі CAN (Controller Area Networks), Motronic може взаємодіяти з контролерами інших систем транспортного засобу. На рисунку 1.2 зображено кілька прикладів з'єднань компонентів з системою Motronic.

Контролери можуть обробляти дані з інших систем як вхідні дані для своїх власних алгоритмів регулювання та управління. Прикладом може бути процес перемикання передач, який Motronic регулює шляхом зменшення обертового моменту, що дозволяє плавне перемикання.

Із зростанням вимог до автомобільних систем, Motronic також постійно розвивався. Розрізняють три основні варіанти цієї системи. Перший - M-Motronic, із всіма раніше згаданими основними та додатковими функціями. Другий - система ME-Motronic, яка, окрім функцій M-Motronic, додатково обладнана електронною педаллю прискорення (EGAS). Третій - це система

MED-Motronic, тобто система ME-Motronic із функцією управління прямим впорскуванням бензину. Також існують системи MEG-Motronic із функцією управління приводом, але вони широко не використовуються.

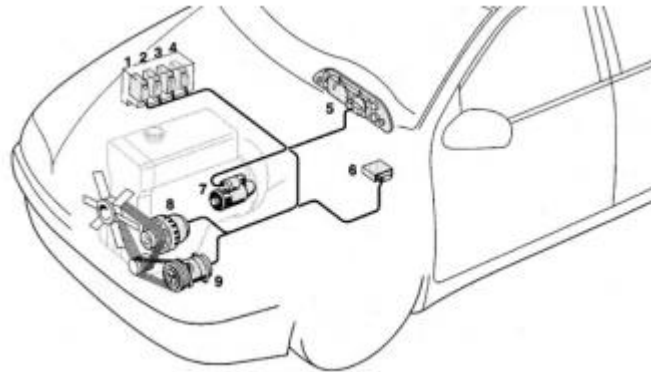


Рисунок 1. 2 – Приклад системи з'єднань компонентів автомобіля з системою Motronic

1 - контролер двигуна (Motronic), 2 - контролер ESP (з ABS і ASR), 3 - контролер приводу (передач), 4 - контролер кондиціонера, 5 - вказівники разом з бортовим комп'ютером, 6 - контролер блокування двигуна, 7 - стартер, 8 - генератор, 9 - компресор кондиціонера

До недавнього часу функції Motronic можна було достатньо просто документувати за допомогою опису його структури та функцій. Проте на сучасному етапі процедури регулювання та управління бензиновими двигунами мають настільки велику складність, що необхідно використовувати опис у вигляді блок-схеми. Ключовою подією в розвитку систем Motronic було введення блоку обертового моменту. Всі види вимог до обертового моменту двигуна контролюються та централізовано координуються системою Motronic у формі визначеного значення моменту. Ця структура була впроваджена у системах ME-Motronic. Розрахований потрібний момент обчислюється, а потім встановлюється за допомогою кута випередження запалювання (система запалювання), електричних налаштувань положення дросельної заслінки (подача повітря), дозування впорскування в системі GDI (система прямого впорскування бензину), відключення форсунок та відведення повітря (у випадку турбодвигунів). На рисунку 3 наведено блок-схему сучасної системи Motronic із зазначенням окремих блоків. Деякі з них реалізовані програмно (наприклад, блок

моменту обертання двигуна), тоді як інші вимагають підключення додаткового обладнання та програмного забезпечення (наприклад, блок системи живлення з інжекторами). Блоки з'єднуються між собою за допомогою прийнятих у системі з'єднань.

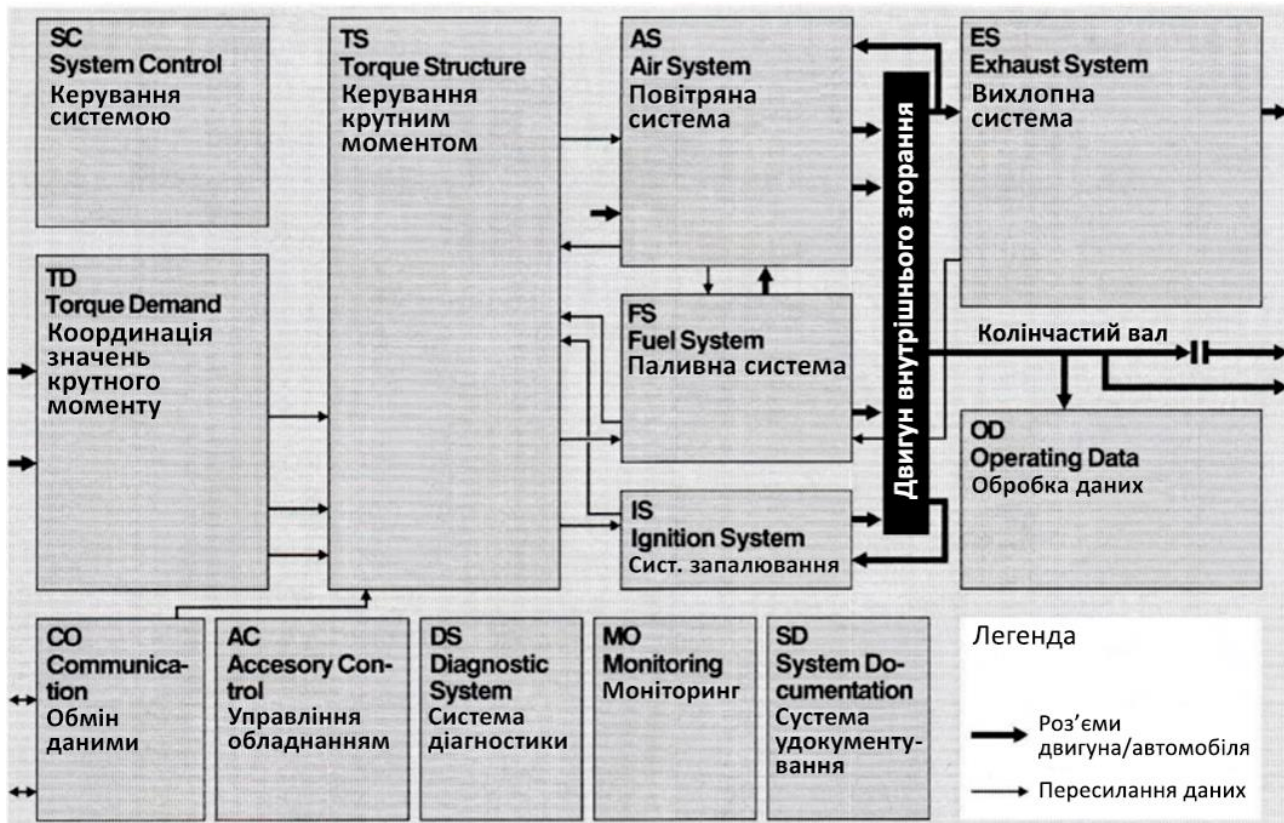


Рисунок 1.3 - Блок-схема сучасної системи Motronic.

1.2.2. Датчики, які використовуються в системі Motronic

Датчики в системі Motronic використовуються для визначення значень параметрів роботи двигуна (наприклад, обертів) та заданих значень (наприклад, положення педалі подачі палива). Вони призначені для перетворення хімічних величин (наприклад, концентрації компонентів відпрацьованих газів) або фізичних величин (наприклад, тиску) в електричні величини. Датчики та виконавчі пристрої є місцем з'єднання між системами автомобіля (гальмівної, привідної, несучої та кузовної) з їх (комплексно розглянутими) характеристиками та електронними контролерами - як засобами обробки (наприклад, управління кондиціонером, двигуном, ESP). Зазвичай датчики

мають ланцюг, який адаптує та підготовлює сигнал так, щоб контролер міг його зчитати. Мехатроніка, в межах якої електронні та механічні елементи та системи обробки даних стають все більше зв'язаними, з кожним роком набуває значення і в області датчиків. Сучасні датчики стають все меншими, але водночас - більш точними та швидшими, завдяки тому, що їх вихідні сигнали безпосередньо впливають на момент обертання і потужність двигуна, динаміку руху, викиди небезпечних компонентів відпрацьованих газів, комфорт та безпеку керування автомобілем. Це можливо саме завдяки мехатроніці [2, 18, 23].

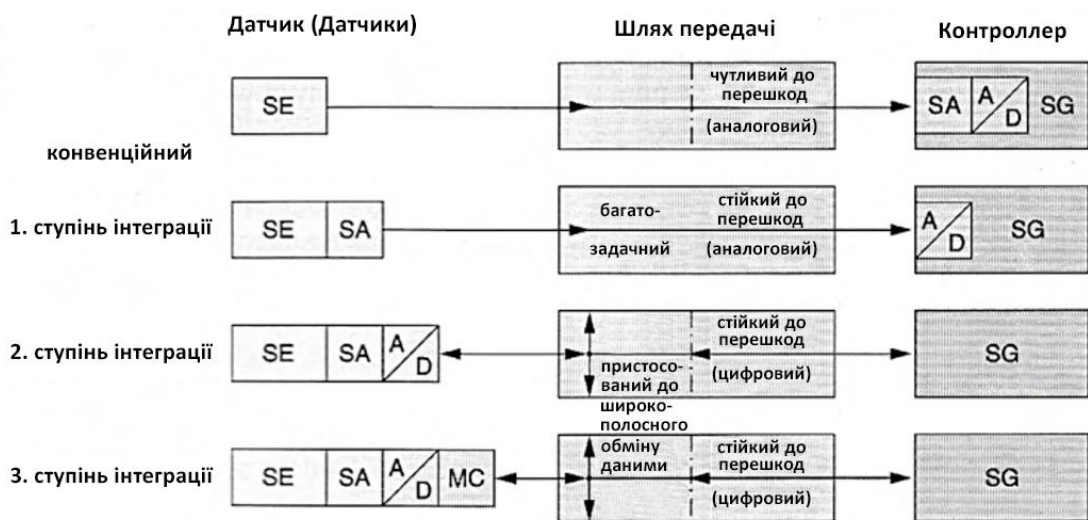


Рисунок 1.4 – Схема рівнів інтеграції датчиків

MC - мікропроцесор, SG - цифровий контролер, A/D - аналого-цифровий перетворювач, SA - попередня обробка сигналу (аналогова), SE - датчик (датчики).

Фільтрація сигналів, цифрово-аналогове перетворення, автокалібрування і, в майбутньому, навіть мікрокомп'ютери для подальшої обробки сигналів можуть бути об'єднані в один, повністю інтегрований рівень в модулі датчика. Рівні інтеграції датчиків показано на схемі, наведеній на рисунку 1.4. Такі заходи дозволять знизити вимоги до потрібної розрахованої потужності контролерів та безпосереднє, різноманітне використання сигналів датчика (через шини даних). Додатково вони можуть призвести до створення єдиного, гнучкого до змін і пристосованого до серійного обміну даними та стійкого до перешкод роз'єму,

придатного для всіх датчиків. Вони також дозволяють вимірювати менші значення, ніж раніше, а також спростять стандартизацію датчиків.

1.3. Контролери - вимоги, конструкція та метод обробки даних

Завдяки цифровій техніці багато змінних рішень одночасно враховуються, що дозволяє системі управління виконувати свої функції максимально ефективно. Завданням контролера є приймати електричні сигнали від датчиків, надавати їм значення та обчислювати вихідні сигнали, які передає до виконавчих органів. Програмне забезпечення контролера (software) розташоване у постійній пам'яті. Програма зчитується та виконується мікроконтролером (мікропроцесором). Електронні компоненти, що входять до структури контролера, називаються "hardware". Контролери Motronic обладнані всіма алгоритмами управління роботою бензинових двигунів із запалюванням іскрою (створення змішаної речовини, запалювання тощо) [1, 2, 24, 26].

Перед контролерами ставляться надзвичайно високі вимоги, оскільки вони піддаються значним навантаженням, зокрема через екстремальні температури навколишнього середовища (для звичайних умов експлуатації від 40° до навіть 125°C) та її значні коливання, вплив вологості, відпрацьованих газів та експлуатаційних матеріалів (палива, мастила і т.д.), а також механічні напруження (наприклад, від вібрацій, що є причиною роботи двигуна). Контролер повинен працювати так само надійно як під час запуску з відносно слабкою батареєю (зокрема під час холодного запуску), так і за високого напруги заряджання (коливання, які виникають в силовій мережі автомобіля). До інших вимог можна віднести електромагнітну сумісність, стійкість до електромагнітних перешкод, а також стійкість до емісії перешкод, що відзначаються високою частотою [1, 9, 18, 24].

Контролери в системах Motronic зазвичай виглядають у вигляді плати з друкованим контуром, яка розташована в корпусі з металу або полімерного матеріалу. Живлення контролерів та взаємодія з педалями подачі палива та

датчиками здійснюється за допомогою багатоконтактного роз'єму. Потужні елементи, які служать для прямого керування педалями подачі палива, вбудовані в корпус контролера таким чином, щоб забезпечити їх ефективне охолодження. Електронні компоненти зазвичай виготовляються за допомогою технології поверхневого монтажу SMD (Surface Mounted Devices), що дозволяє економити вагу і простір. Однак деякі роз'єми та потужні елементи виготовляються за допомогою технології тривимірного монтажу. Елементи, які кріплять контролер безпосередньо на двигуні, відрізняються щільною конструкцією і високою температурною стійкістю. Вони виготовляються за гібридною технологією.

Стенд управління та датчики (виконавчі пристрої) утворюють проміжний рівень між транспортним засобом та контролером (блоком обробки). Електричні сигнали від датчиків передаються до контролера за допомогою проводів та штепсельного роз'єму. Сигнали можуть мати різні форми, такі як аналогові, цифрові або імпульсні входні сигнали. Аналогові сигнали перетворюються на цифрові значення напруги в даному діапазоні. Прикладами фізичних величин, які існують у формі аналогових сигналів, можуть бути температура повітря, тиск наддуву, тиск у впускному клапані, напруга акумулятора чи масова витрата повітря. У мікропроцесорі контролера (у пристрої аналого-цифрового перетворення) вони конвертуються в цифрові сигнали для подальших обчислень в центральній одиниці мікроконтролера. Максимальна роздільність сигналів такого типу становить 5 мВ, тобто діапазон вимірювання від 0 до 5 В буде містити приблизно 1000 інтервалів. Другий тип сигналів - цифрові, які існують тільки в двох станах: низькому (low = логічний 0) та високому (high = логічний 1). Прикладом простого цифрового входного сигналу є перемикачі on/off (увімкнено/вимкнено) та датчики імпульсної швидкості обертання (датчик Холла). Цифрові сигнали можуть бути безпосередньо оброблені в мікропроцесорі. Третім типом сигналів є імпульсні сигнали індуктивних датчиків, які мають інформацію про кількість обертів і, разом з маркерами посилення, обробляються всередині контролера в спеціальному пристрої.

Забруднюючі імпульси відкидаються, а імпульсні сигнали перетворюються на цифрові прямокутні імпульси.

В рамках передпроцесингу сигналів їх вхідна напруга обмежується допустимим діапазоном (з використанням захисних схем). Завдяки фільтрації корисні сигнали звільняються від накладених на них сигналів перешкод. Наступним етапом є їх підсилення до прийнятого діапазону напруги. Залежно від того, наскільки інтегровані мікросхеми, обробка сигналу відбувається частково або повністю в самому датчику. Подальше оброблення сигналів відбувається в мікроконтролері, який виконує алгоритми регулювання та управління. Сигнали від датчиків передаються до контролера за допомогою з'єднань (наприклад, магістралі CAN), служачи вхідними значеннями для алгоритмів. Вони відповідним чином конвертуються за допомогою програм контролера, що дозволяє генерувати вихідні сигнали, які забезпечують управління регуляторами [1, 18, 24].

Основним елементом контролера є мікроконтролер, який керує його функціонуванням (рис. 1.5).

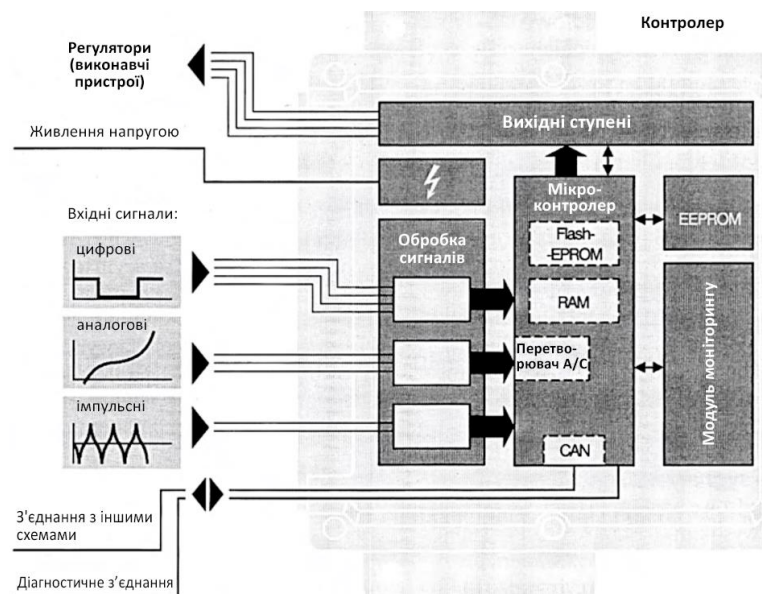


Рисунок 1.5 – Схема обробки даних у контролері

Окрім центрального процесора CPU (Central Processing Unit) в мікропроцесорі є часові ланцюги, контролери вводу та виводу, оперативна та постійна пам'ять RAM і ROM, послідовні з'єднання та інші - периферійні.

Мікроконтролер контактується сигналом від кварцового генератора. Для виконання обчислень йому потрібне відповідне програмне забезпечення. Воно записане в пам'яті програми у вигляді бінарних цифрових значень, розділених на слова. Значення зчитуються ЦП, а потім інтерпретуються як команди і відповідно виконуються. Програма розташована в постійній пам'яті (EEPROM, EPROM або ROM). Там же розміщуються також специфічні дані, такі як коефіцієнти або сталі значення. Там же знаходяться дані про транспортний засіб, які залишаються незмінними під час його експлуатації та входять в алгоритми регулювання та управління. Пам'ять програми є частиною структури мікропроцесора, але може бути розширена як зовнішня пам'ять EEPROM або EPROM, якщо така потреба виникне. Пам'ять програми є постійною пам'яттю ROM (Read Only Memory). Її вміст неможливо змінити (вона була записана, наприклад, виробником). Однак її ємність вбудована в мікроконтролер обмежена. У випадку складних застосувань часто необхідна додаткова пам'ять. Такою пам'яттю може бути програмована постійна пам'ять EPROM (Erasable Programmable ROM). Її можна видалити за допомогою ультрафіолетового випромінювання і знову записати за допомогою програматора. Зазвичай вона виготовляється у вигляді окремого елемента. ЦП взаємодіє з пам'яттю EPROM за допомогою шини. Зворотна пам'ять EEPROM (Flash-EEPROM) є видаючою електричною пам'яттю. Вона дозволяє перепрограмувати контролер без видалення мікросхеми. Зв'язок з обмінною станцією програм відбувається за допомогою послідовного з'єднання. Часто мікропроцесор має додаткову пам'ять ROM, в якій розташовані підпрограми для програмування пам'яті EEPROM. Пам'ять типу EEPROM також може бути вбудована в мікроконтролер в одному чіпі. Зараз вона великою мірою витісняє EPROM [9, 18, 24].

Оперативна пам'ять або змінна пам'ять є необхідною для читання та запису даних, оскільки необхідно зберігати також значення змінних, таких як числові дані чи значення вхідних сигналів. Пам'ять для запису та читання даних RAM (Random Access Memory) виступає своєрідним сховищем поточних значень, які обробляються. У випадку складних застосувань ємність вбудованої пам'яті RAM

в мікропроцесорі може бути недостатньою. Тоді її слід розширити за допомогою зовнішніх пристроїв пам'яті такого типу, які будуть співпрацювати з мікроконтролером за допомогою шини даних. Після відключення живлення весь вміст пам'яті RAM втрачається. Однак значення, що вивчені різними станами роботи двигуна, повинні бути доступні при наступному його запуску. Тому, щоб їх не втратити після вимкнення запалювання, пам'ять RAM залишається постійно під напругою (так зване постійне живлення). Пам'ять втрачає дані після відключення батареї. Інформація, яку не повинно бути втрачено навіть після відключення батареї, поміщається в постійну пам'ять, таку як EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), що може видаляти і записувати кожен окрему комірку пам'яті індивідуально. З цього приводу вона використовується в тих місцях, де необхідна постійна пам'ять. Деякі контролери використовують FEPRM як постійну пам'ять. Заради невпинного зростання складності функцій управління, стандартні мікроконтролери вже не використовуються. У цьому відношенні застосовуються спеціалізовані інтегральні мікросхеми ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Вони були розроблені для завдань розвитку контролерів. Вони можуть містити додаткову пам'ять RAM, канали виходу та входу, а також генерувати та формувати сигнали широтної модуляції ШІМ.

Контролер обладнано модулем самодіагностики. Модуль моніторингу та мікропроцесор взаємодіють між собою за допомогою так званого тесту "питання - відповідь". Якщо виявлено помилку, вводяться дві незалежні одна від одної функції - запасні. Мікроконтролер також керує вихідними сигналами кінцевих етапів, основною функцією яких є постачання необхідної потужності до проміжних з'єднань регуляторів (виконавчих пристроїв). Для особливо великого споживання енергії кінцевим етапом керує реле (наприклад, вентилятором). Вихідні етапи (кінцеві) повинні бути захищені від перешкод і коротких замикань, що виникають внаслідок електричних або теплових перевантажень. Збої та від'єднання проводів визнаються вихідними етапами інтегральних схем як помилка, а повідомлення про це передається мікропроцесору. Увімкнення та

вимкнення виконавчих пристроїв відбувається за допомогою сигналів з'єднань. Існують також сигнали ШІМ, тобто цифрові вихідні сигнали широкосмугової модуляції імпульсів, з прямокутними коливаннями, які відзначаються постійною частотою і змінною наповненістю (рис. 1. 6). Сигнали цього типу дозволяють налаштувати різні виконавчі пристрої (наприклад, клапан тиску наддуву або клапан ЕРГ) в робоче положення.

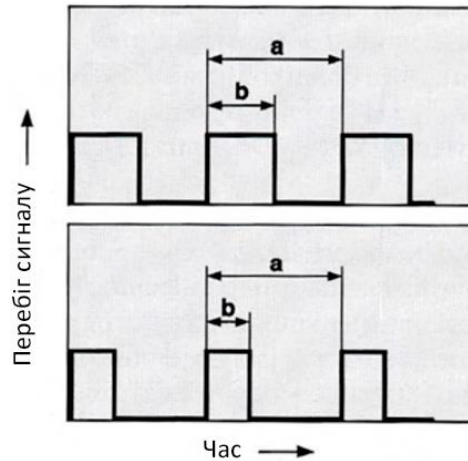


Рисунок 1.6 – Схема сигналів типу ШІМ (PWM)

a – постійний або змінний період імпульсу, b – змінна ширина імпульсу

Периферійні елементи, які визначають сенс роботи мікроконтролера, повинні підтримувати з ним постійний зв'язок. Для цього використовується адресна шина та шина даних. Мікропроцесор вказує конкретну адресу (наприклад, оперативної пам'яті), вміст якої повинен бути зчитаний. Адреса виводиться на адресну шину, тоді як дані передаються шиною даних. У старших версіях автомобільних контролерів використовувався 8-бітовий шинний протокол, який означає, що порція даних передавалася через 8 проводів і містила 256 значень. У сучасних системах часто використовуються 16-бітні версії шин, які передають дані до 65 536 значень. Для складних систем можуть використовуватися навіть 32-бітні контролери. У випадку такої структури можна використовувати мультиплексовану шину, тобто з використанням тих самих проводів для адреси і даних. Дані, які не вимагають швидкого передавання, такі

як дані пам'яті помилок, використовують послідовні зв'язки з одним проводом для даних.

Велика кількість типів автомобілів, які потребують різноманітних програм управління та записів даних, призвела до формування тенденції до мінімізації різноманітності вимог, які ставляться до різних типів контролерів виробниками автомобілів (прагнення до стандартизації). Прикладом може бути програмування повного обсягу пам'яті FEPR0M, тобто введення програм та повного набору специфічних даних з використанням EOL (кінець лінії). Ще однією можливістю є розміщення в пам'яті великої кількості варіантів даних, з яких можна вибрати потрібний за допомогою спеціального коду. Такі коди (слова) розміщуються в пам'яті EEPROM [9, 18, 24].

РОЗДІЛ 2. УПРАВЛІННЯ РОБОЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ДВИГУНІВ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМ MOTRONIC

2.1. Електронне управління та регулювання

Основне завдання електронних контролерів двигуна полягає в керуванні всіма обслуговуваними вузлами в системі Motronic так, щоб отримати оптимальне значення споживання пального (загальна ефективність двигуна), потужності, комфорту водіння та викидів газів. Для досягнення цієї мети необхідно знати багато параметрів роботи, отриманих від вузлів управління та датчиків, а потім обробити їх в алгоритмах відповідно до визначеної схеми обчислювального процесу. Результатом є сигнали керування вузлами обслуговування обладнання. Центральною частиною контролера двигуна є невеликий мікрокомп'ютер з програмною пам'яттю (EPROM), в якій зберігаються алгоритми управління процесами (рис. 2.1). Виведені з вузлів управління величини впливають на обчислення в алгоритмах та на сигнали управління вузлами обслуговування, де відбувається конвертація електричних сигналів у механічні (наприклад, зміна поперечного перерізу при протіканні через клапан). Контролер двигуна, завдяки використанню магістралі CAN (Controller Area Network), може обмінюватися даними з іншими електронними системами (наприклад, з ESP – Electronic Stability Program). Таким чином, керування двигуном може бути інтегроване в загальну систему керування автомобілем. Системи з електронним керуванням потужністю двигуна (EGAS) піддаються дуже високим вимогам щодо експлуатаційної безпеки, оскільки вони замінюють механічний зв'язок (між педаллю та дросельною заслінкою) з приводом дросельної заслінки, який визначає значення моменту в системі приводу. Мікрокомп'ютер контролюється модулем самодіагностики і в разі помилки негайно вводить аварійні процедури [10, 18].

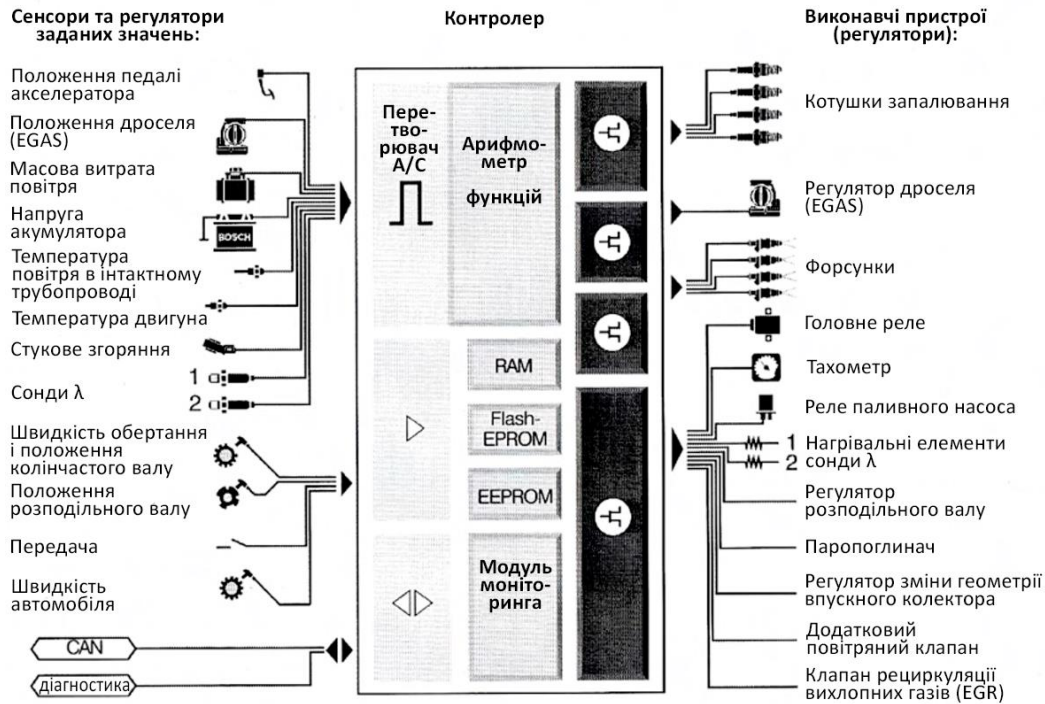


Рисунок 2.1 – Схема елементів електронної системи регулювання та управління Motronic

Структура системи враховує функціональні аспекти, пов'язані з архітектурою програмного забезпечення Motronic, яке розділене на 13 блоків (наприклад, подача повітря або подача пального). З огляду на їх функції, було здійснено додатковий поділ всього на 50 модулів (наприклад, регулювання коефіцієнта λ або регулювання тиску наддуву). На рис. 2.2 показана блок-схема цієї структури. Центральним елементом роботи програмного забезпечення всієї системи є блок координації крутного моменту двигуна та блок управління величиною моменту. Вони з'явилися разом з електронною педаллю прискорення (EGAS). Управління наповненням з використанням електронно-налаштованої дросельної заслінки, дозволяє отримати обране водієм значення моменту двигуна, яке виражено встановленням відповідного положення педалі подачі палива. Одночасно відбувається встановлення та координація всіх додаткових вимог, що виникають з умов обслуговування та руху (наприклад, увімкнений кондиціонер), які впливають на значення моменту. У перших версіях системи Motronic бажане значення моменту отримувалося за допомогою зміни кута

випередження запалювання (прискорення або затримка), управлінням холостим ходом (регулювання обхідного клапана) або зміною складу пального суміші (зміна часу впорскування), які виконувалися окремо. Найновіші покоління системи мають координацію значень моменту.

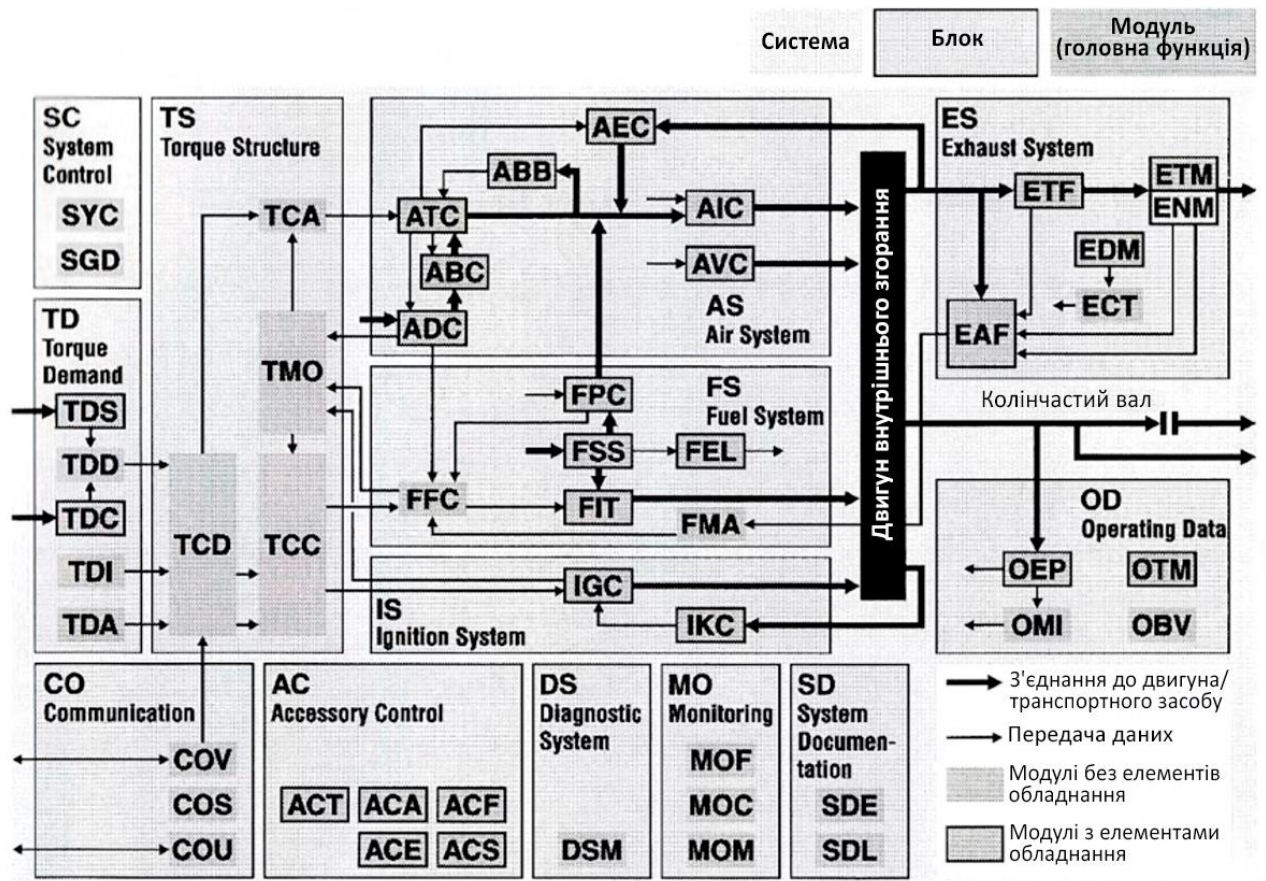


Рисунок 2.2 – Блок-схема системи Motronic

У документації системи Motronic (блок SD - системна документація) міститься перелік вихідних технічних даних, які описують проект обслуговування (наприклад, опис конфігурації або опис контролера). З іншого боку, в блоку керування системою (блок SC - керування системою) перелічені керуючі модулі, які реалізують функції, що застосовуються в усій системі Motronic. Він складається з двох модулів. Перший з них - модуль керування системою (SYC - функціональне керування системою) містить опис станів мікроконтролера, таких як: ініціалізація, нормальний стан (в якому виконуються основні функції) та примусовий стан (наприклад, під час тестування обладнання). Другий - режим прямого впорскування пального (SGD - керування

режимом прямого впорскування бензину), в межах якого відбувається координація та перемикання режимів роботи двигуна GDI. Рішення про те, в якому режимі має працювати двигун, приймається внаслідок координації вимог багатьох різних функцій (з врахуванням визначених пріоритетів).

Блок координації моменту (блок TD - Torque Demand) визначає вимоги, що стосуються моменту, а потім робить розрахунки значень параметрів, щоб потім передати їх управлінню блоку керування моментом (TS) як вихідні значення. Модуль підготовки сигналу крутного моменту (TDS - Torque Demand Signal Conditioning) визначає положення педалі подачі палива. Він визначається двома незалежними від себе датчиками кута, а потім переводиться в одне нормалізоване значення кута. Існує ряд перевірок, які система проводить, щоб переконатися, що не виникла помилка, і що вказаний кут положення педалі не може бути більший, ніж фактичний. Наступний модуль в межах розглянутого блоку – це модуль інтерпретації намірів водія автомобіля (TDD – Torque Demand Driver). На основі положення педалі газу обчислюється задане значення крутного моменту (з характеристики педалі). Модуль внутрішнього крутного моменту (TDA - Torque Demand Auxiliary Functions) визначає внутрішні вимоги та обмеження, наприклад, обмеження швидкості. З свого боку, модуль регулювання швидкості обертання холостого ходу (TDI - Torque Demand Idle Speed Control) встановлює швидкість обертання двигуна для нейтрального положення педалі газу. Її значення встановлюється таким чином, щоб забезпечити стабільну, спокійну роботу двигуна. Однак його можна збільшити в певних експлуатаційних ситуаціях, зокрема при холодному двигуні, увімкненні кондиціонера або нагріванні каталізатора. Модуль регулювання швидкості руху (TDC - Torque Demand Cruise Control) дозволяє утримувати постійну швидкість автомобіля при нерухомій педалі газу (проте в межах можливостей установки крутного моменту). Основні умови вимкнення цієї функції включають в себе дію гальм, вимкнення запалювання, ввімкнення зчеплення чи зниження швидкості нижче мінімального бажаного значення.

В блоку управління моментом (TS - Torque Structur) відбувається координація значень параметрів, що визначають момент двигуна, таких як кут запалювання, налаштування подачі палива та повітря. Завданням модуля координації моменту (TCD - Torque Coordination) є контроль всіх вимог, що стосуються моменту. Ці вимоги мають пріоритети (наприклад, обмеження швидкості обертання), і залежно від режиму роботи, вони перераховуються в установлені значення для кожного етапу управління моментом. Модуль регулювання моменту подачі повітря (TCA - Torque Conversion Air) відповідає за визначення, виходячи зі вхідних значень заданого моменту, вказаного обсягу подачі повітря. Задане значення наповнення розраховується так, щоб значення моменту було точно встановлено для певної суміші та базового кута запалювання. З свого боку, модуль регулювання моменту запалювання (TCC - Torque Conversion Combustion) на основі вхідних значень даного моменту визначає задані значення коефіцієнта λ , ступеня відключення циліндрів та кута запалювання. Останній з модулів - моделювання крутного моменту (TMO - Torque Modelling) із поточних значень коефіцієнта λ , значення наповнення, ступеня відключення циліндрів, кута випередження запалювання та швидкості обертання, обчислює теоретичний, оптимальний розмір індукованого моменту. На основі характеристики ефективності визначається фактичне, очікуване значення моменту.

Блок подачі повітря (AS - Air System) відповідає за налаштування наповнення, відповідного до визначеної величини моменту (як в області тиску наддуву, регулювання EGR, переміщення розподільного валу, так і зміни геометрії колектора). До його складу входить сім модулів. Перший з них - модуль керування дросельною заслінкою (ATC - Air System Throttle Control) визначає задане значення положення дросельної заслінки на основі масової витрати повітря. Модуль розрахунку наповнення повітрям (ADC - Air System Determination of Charge) має за завдання визначати ступінь наповнення циліндрів газами нейтральним та свіжим повітрям за допомогою датчиків подачі палива. На основі масових потоків повітря він моделює відношення тисків у впускному

колекторі. Модуль керування геометрією впускного колектора (AIC - Air System Intake Mainfold Control) визначає положення заслінки потоку заряду та регулює налаштування геометрії колектора. Модуль керування рециркуляцією відпрацьованих газів (AEC - Air System Exhaust Gas Recirculation) регулює їх значення у колекторі, щоб, як сама назва вказує, забезпечити рециркуляцію вихлопних газів. Основна роль, яку відіграє модуль керування розподільним валом (AVC - Air System Valve Control), - це визначення заданих значень положення випускних та впускних клапанів та їхнє регулювання й налаштування. Це дозволяє впливати на кількість залишкових відпрацьованих газів у циліндрах. Модуль керування тиском наддуву (ABC - Air System Boost Control) визначає тиск наддуву для двигунів, обладнаних турбонаддувом, та регулює налаштування виконавчого пристрою для цієї системи. Двигуни з прямим впорскуванням бензину для низьких рівнів живлення з розпиленням палива у вигляді шару, працюють з відкритим дроселем. Тому впускний колектор характеризується значенням тиску, подібного до атмосферного. Модуль керування пневматичним гальмівним підсилювачем (ABB - Air System Brake Booster) має за завдання забезпечити достатній тиск у колекторі, щоби можливо було створити подвійне підсилення гальм.

Розділ "Система пального" (FS – Fuel System) визначає момент початку впорскування палива (або форсунок) та час впорскування (дозу палива), синхронізований з положенням колінчастого вала. Модуль попереднього керування паливом (FFC – Fuel System Feed Control) на основі встановленого коефіцієнта λ , ступеня наповнення та додаткових коефіцієнтів (наприклад, для компенсації змін умов навколишнього середовища або для нагрівання чи запуску), визначає задану порцію дози палива. Подальші корекції враховують адаптацію суміші, провітрювання бака та регулювання λ . В системі Motronic можливе обчислення специфічних значень дози для різних видів живлення, таких як впорскування в компресійній фазі або кілька впорскувань. Задачею модуля витрат впорскування (FIT – Fuel System Injection Timing) є визначення часу відкриття форсунки (часу впорскування) та його кутова синхронізація

відносно колінчастого вала. Час впорскування розраховується на основі зазначеної раніше маси дози та значень параметрів стану, таких як тиск у камері згоряння, тиск у баку палива, напруга акумулятора чи тиск у колекторі. Основною функцією модуля адаптації суміші (FMA – Fuel System Mixture Adaptation) є покращення точності керування попереднім значенням λ за рахунок врахування довгострокових відхилень (від середнього значення) регуляторів λ . У випадку невеликих відхилень $\Delta\lambda$ створюються виправлення, які в системах зі шаруватим датчиком витрат (HFM) зазвичай відображають невеликі втрати впускного трубопроводу. У системах з датчиком тиску у впускному колекторі враховується вплив залишкових газів або систематичні відхилення датчика тиску. Для великих ступенів наповнення визначаються множники, які представляють значущі помилки вимірювань датчика витрат, характеристики форсунок та відхилення тиску в баку палива. Ще одним модулем, відповідальним за подачу палива (FSS – Fuel Supply System), як і зазначається в його назві, є подача необхідної кількості палива з бака, що забирається з резервуара. Необхідний діапазон регулювання тиску – від 200 до 600 кПа. Сигнал датчика тиску передає інформацію про реальний тиск. У випадку прямого впорскування бензину модуль FFS також включає в себе коло високого тиску палива з високонапірним насосом (HDP1) та клапаном, що регулює тиск (DSV), або з насосом (HDP2) та об'ємним клапаном (MSV). Залежно від режиму живлення у такому випадку високий тиск регулюється в діапазоні від 3 до 11 МПа. Задане значення розраховується за допомогою функції, яка враховує режим роботи двигуна. Реальне значення тиску передається з датчика високого тиску. Модуль вентиляції бака (FPC – Fuel System Purge Control) під час роботи двигуна керує відновленням палива, що зібране в адсорбері з активованим вугіллям та випароване в баці. Враховуються вказані коефіцієнти тривалості імпульсу (які дозволяють керувати клапаном вентиляції бака) та різниця тиску, на основі яких визначається значення загальної маси, що протікає через клапан, оскільки це повинно бути враховано функцією керування дросельною заслінкою (ATC). Останнім модулем в межах блоку FS є модуль виявлення витоків палива (FEL –

Fuel System Evaporation Leakage Detection). Він перевіряє герметичність системи бака відповідно до стандарту OBD II.

Розділ "Система запалювання" (IS – Subsystem Ignition System) характеризується виконанням обчислень величин виходу, необхідних для управління іскровими котушками. Він складається з двох модулів. Модуль управління запалюванням (IGC – Ignition Control) розраховує задане значення кута випередження запалювання (KWZ) в будь-яких умовах роботи двигуна, враховуючи при цьому залежності моменту від поточного значення кута випередження запалювання. Кінцеве значення KWZ визначається як скоригований основний кут. Якщо відбувається зміна положення потоку впускного колектора, переміщення фаз газорозподілу, зміна параметрів впускного колектора або включення спеціального режиму живлення двигуна GDI, це враховується під час обчислення основного кута випередження запалювання. Для визначення максимального KWZ (максимально раннього запалювання) основний кут коригується відповідно до стану нагрівання двигуна та з урахуванням корекції рециркуляції відпрацьованих газів та детонації. Знання поточного кута випередження запалювання та необхідного часу заряджання котушки становить основу для обчислення моменту часу включення першого ступеня запалювання. Другий модуль – регулювання протиударного контролю (ІКС – Ignition System Knock Control) працює під час роботи двигуна в умовах оптимальної ефективності, але без перевищення межі детонації. Датчики детонації контролюють хід горіння в циліндрах. Сигнали звуків матеріалів, які виявляються датчиками, порівнюються з рівнем відсилення, який формується за допомогою нижньочастотного фільтра, що розрізняє циліндри (на основі їх останніх циклів роботи). Рівень відсилення включає фон шумів, які видає двигун, в якому відсутнє детонаційне горіння. Завдяки такому порівнянню отримується інформація про те, наскільки гучно працює двигун порівняно з рівнем відсилення та чи був перевищений поріг, що характеризує детонаційне горіння. При визначенні рівня відсилення та виявленні детонації враховуються змінні режими роботи двигуна (ступінь живлення та динаміка швидкості). Протиударне

регулювання має індивідуальну форму для кожного з циліндрів. Воно полягає в затримці запалювання (зменшенні кута випередження запалювання) у випадку виявлення детонації, а потім поступовому прискоренні запалювання (збільшенні KWZ) до моменту повторного виявлення характерних ознак детонації. У разі виникнення апаратних помилок активується аварійна процедура, яка включає налаштування з безпечною затримкою.

Розділ " Система відпрацьованих газів" (ES – Exhaust System) включає шість модулів. Блок ES модифікує процес створення паливно-повітряної суміші, контролює стан насичення каталізаторів, а також оптимізує значення коефіцієнта λ . Завдання першому з його модулів, а саме модуля моделювання та опису системи відпрацьованих газів (EDM – Exhaust System Description and Modelling), полягає в моделюванні фізичних величин, що характеризують явища в вихлопному трубопроводі, визначенні значень сигналів та діагностиці датчиків, що вимірюють температуру відпрацьованих газів (якщо вони є). Крім того, він готує параметри системи відпрацьованих газів відповідно до вимог діагностичного пристрою. Він моделює такі фізичні величини, як наприклад тиск (ключовий під час визначення об'єму залишкових газів в циліндрах), температура (зокрема для захисту системи відпрацьованих газів) та масовий витік системи відпрацьованих газів (для діагностики каталізаторів та регулювання значення коефіцієнта λ). Його наступне завдання - встановлення наявності кисню у відпрацьованих газах за допомогою зонда λ , що дозволяє діагностувати та керувати каталізатором для накопичення оксидів азоту. Модуль регулювання λ (EAF – Exhaust System Air Fuel Control) регулює коефіцієнт λ до заданого значення з використанням вимірів зонда λ , розташованого перед першим каталізатором. Таке регулювання спрямоване на забезпечення мінімізації небезпечних компонентів відпрацьованих газів, обмеження коливань значень моменту двигуна, а також запобігання перевищенню межі зрідження суміші. Сигнали, які генерує цей модуль, дозволяють каталізатору ефективно обмежувати шкідливі речовини відпрацьованих газів. Наступний модуль - регулювання та управління попереднім трикомпонентним каталізатором (ETF –

Exhaust System Three-Way Front Catalyst), використовує дані, генеровані зондом λ , розташованим безпосередньо за попереднім каталізатором. Сигнал із зонда передає інформацію про вміст кисню відпрацьованим газів, яка є основою для діагностики та регулювання каталізатора. Таке регулювання дозволяє значно поліпшити склад паливно-повітряної суміші та максимально ефективно конвертувати відпрацьовані гази в каталізаторі. В різних системах використовуються різні процедури регулювання. Запас моменту для блоку TS визначається на основі теплового потоку, необхідного для збільшення температури. Підвищення температури можливо досягти шляхом затримки запалювання. У разі холостого ходу збільшення теплового потоку можна отримати за рахунок збільшення обертової швидкості.

В блоку обробки даних (OD – Operating Data) всі ключові параметри роботи двигуна визначаються, а потім інтерпретуються з метою підготовки їх резервних значень. У межах модуля визначення швидкості обертання та положення колінчастого валу (OEP – Operating Data Engine Position Management), розраховуються параметри з відсортованих вхідних сигналів датчиків розподільного валу та колінчастого валу. Ця інформація дозволяє визначити швидкість обертання двигуна. Орієнтири на маховику (характеристики сигналу розподільного валу та відсутні зубці) дозволяють синхронізувати роботу між двигуном та контролером (і наглядати за цією синхронізацією під час роботи двигуна). Шаблон положення колінчастого валу у стані спокою та шаблон сигналу положення розподільного валу використовуються для оптимізації часу запуску. Це дозволяє швидко синхронізацію системи. Основною функцією модуля вимірювання температури (OTM – Operating Data Temperature Measurement) є обробка даних від датчиків температури для доступу до налаштувань вимірювальних сигналів. Він також виконує їх інтерпретацію та готує резервні значення в разі виникнення помилок. Головним чином визначається температура двигуна та повітря в колекторі подачі. Додатково може вимірюватися температура моторної оливи та навколишнього середовища. Разом з характеристиками окремих датчиків та значеннями напруги

отримуються вимірвальні значення температури. Ще один модуль - модуль визначення напруги акумулятора (OBV – Operating Data Battery Voltage) готує сигнали живлення та діагностує їх. Вимірювання сигналу відбувається через затискання та головне реле. Модуль визначення відмов циклів роботи (OMI – Misfire Detection Irregular Running) призначений для контролю роботи двигуна, відмов запалювань та спалювання в окремих циклах роботи двигуна.

Наступний блок - обмін даними (CO – Communication) відповідає за комунікацію як між блоками, так і модулями системи. Основною функцією модуля інтерфейсу комунікації з користувачем (COU – Communication User Interface) є встановлення зв'язків з адаптивними та діагностичними пристроями. Комунікація відбувається за допомогою каналів та з'єднань CAN. Залежно від застосування використовуються різні протоколи обміну даними (наприклад McMess або KWP 2000). Модуль інтерфейсу комунікації транспортного засобу (COV – Communication Vehicle Interface) забезпечує комунікацію через шину даних з важелями, датчиками та контролерами. Останній з модулів, а саме модуль забезпечення комунікаційного доступу (COS – Communication Security Access) забезпечує комунікацію з імобілайзером та дозволяє отримати доступ до програмованої пам'яті EEPROM.

Блок керування аксесуарами (AC – Accessory Control) складається з п'яти модулів. Модуль керування кондиціонером (ACA – Accessory Control Air Condition) відповідає за регулювання налаштувань компресора кондиціонера та розрахунок сигналу датчика тиску в системі кондиціювання. Кондиціювання може бути увімкнено водієм або контролером кондиціювання, який передає системі Motronic інформацію про необхідність його увімкнення. Система керування двигуном під час роботи на холостому ході має достатньо часу для вироблення регулювання крутного моменту для приводу компресора. Раптове вимкнення кондиціонера може бути викликано, наприклад, низькою температурою навколишнього середовища, пошкодженням датчика тиску або критичним тиском в системі кондиціювання. Наступний модуль, а саме модуль керування тепловим менеджментом (ACT – Accessory Control Thermal

Management) відповідає за зміну температури двигуна в залежності від його робочого стану. На задану температуру впливає швидкість руху, потужність, температура навколишнього середовища та робочий стан двигуна. Дія модуля дозволяє швидко досягти потрібної температури і гарантує належне охолодження. Залежно від заданого значення розраховується об'ємна витрата охолоджуючої рідини, яка протікає через радіатор (на основі характеристики термостата). Модуль керування електричними машинами (ACE – Accessory Control Electrical Machinery) відповідає за управління генератором та стартером, а модуль ACS (Accessory Control Steering) - керує насосом гідروпідсилувача керма.

Наступний блок - блок моніторингу (MO - Monitoring), включає три модулі. Перший з них - модуль головного моніторингу (MOF - Monitoring Front), який спостерігає за кожним елементом системи Motronic, що визначає момент і обертову швидкість. Передусім він порівнює розрахунковий момент з реальним моментом, визначеним на основі значень параметрів робочого стану двигуна. Якщо реальний момент занадто великий, він приймає заходи, спрямовані на забезпечення потрібного стану. Модуль моніторингу (MOM - Monitoring Module) містить всі функції, пов'язані з моніторингом, а також функції модуля моніторингу та бортового комп'ютера. Модуль моніторингу та бортовий комп'ютер є складовими частинами контролера. Перевірка взаємодії здійснюється завдяки безперервному обміну типу "запитання - відповідь". Модуль моніторингу мікроконтролера (MOC - Microcontroller Monitoring) включає всі функції моніторингу, які можуть виявляти пошкодження або неправильну роботу периферійних пристроїв та комп'ютера, наприклад, тест команд, контроль виконання програм, тест пам'яті RAM і ROM або тест перетворювача A/C.

Останній блок системи Motronic - блок діагностики (DS - Diagnostic System). Діагностика проводиться для кожної системи, а блок діагностики сам перевіряє отримані діагнози. У ньому працює модуль управління діагностикою (DSM - Diagnostic System Menager), який керує індикатором діагностики MIL,

взаємодіє з діагностичним пристроєм (діагностичним тестером), координує виконання різних діагностичних функцій та підтвердження помилок, а також зберігає нормативні значення та відхилення від них (помилки) в області охорони навколишнього середовища.

2.2. Електронна діагностика

Функції діагностики, інтегровані в контролер, включаються до основного обсягу роботи електронного керування двигуном. Під час його звичайної роботи спеціальні алгоритми нагляду контролюють вихідні та вхідні сигнали. Додатково весь системний блок перевіряється на відсутність перешкод та безпомилкову роботу. В контролері зберігаються розпізнані помилки. Під час обслуговування автомобіля на сервісній станції інформація, яка була збережена, зчитується за допомогою послідовного з'єднання, що дозволяє швидко виявляти несправності та усувати їх. Спочатку системи керування двигунами кожного виробника автомобілів дозволяли швидко та зручно виявляти помилки на автосервісі за допомогою функцій самодіагностики. Вимоги законодавства та постійно зростаючий обсяг функціоналу електронних систем змусили впроваджувати багатофункціональну, внутрішню діагностику систем управління двигуном [4, 6, 17, 19].

З'єднання між виконавчими пристроями та контролером контролюються на основі вихідних сигналів. Цей тип контролю дозволяє виявляти помилки регуляторів, а також короткі замикання та відсутність з'єднань. Це реалізується шляхом контролю за електричним колом вихідного сигналу через кінцевий етап (перевірка електричного кола на коротке замикання з напругою акумулятора, масою та відсутністю з'єднань в проводах), а також контролем та інтерпретацією результатів роботи виконавчих пристроїв (наприклад, контроль рециркуляції відпрацьованих газів або перевірка того, чи тиск у вихлопній трубі не перевищує визначених значень і чи змінюється відповідно до впливу регулятора) [7, 10, 17, 18].

Комунікація з іншими контролерами, як правило, відбувається за допомогою шини CAN. Протоколи CAN мають вбудовані засоби контролю, які дозволяють виявляти перешкоди, так що помилки передачі інформації виявляються вже на шині. В контролері відбувається повторна, незалежна перевірка того, чи передача вірна. Інформація від окремих контролерів, як правило, надходить на шину в певних регулярних інтервалах часу (якщо вони випадуть, це буде виявлено через відстеження цих інтервалів). Отримані запасні (зайві) сигнали також додатково контролюються в контролері, точно так само, як це відбувається з усіма вхідними сигналами.

Для правильної роботи контролера в ньому реалізовані функції моніторингу, які виконуються як програмно, так і апаратно (наприклад, так звані інтелектуальні виходи). Ці функції призначені для перевірки окремих частин контролера (наприклад, оперативна пам'ять, EEPROM або мікроконтролер). Велика кількість перевірок відбувається відразу після запуску. Подальше тестування відбувається через регулярні проміжки часу під час звичайної роботи. Пошкодження (відсутність роботи) певного елемента також буде виявлено в цей час. Тривалі процеси, такі як, зокрема, моніторинг пам'яті EEPROM, виконуються під час так званого виходу зі стоянки після вимкнення запалювання. Це дозволяє уникнути втрати інших функцій.

Шлях сигналізації вважається пошкодженим, якщо помилка виявляється протягом тривалого періоду, ніж раніше визначений час. Визнане значення використовується системою як правильне (важливе) до кінцевого визнання його як помилки. Після цього в систему вводиться запасна функція (наприклад, запасне значення температури двигуна, рівне 90°C). Для більшості помилок можливе повернення до нормального стану. Це приймається за умови, що принаймні протягом попередньо визначеного часу буде визнано правильну роботу шляху. Усі помилки індивідуально зберігаються в діагностичній пам'яті у вигляді коду помилки. Для кожної помилки, поруч із її кодом, зберігаються додаткові відомості або умови роботи і оточення, які панують під час виявлення помилки (наприклад, температура двигуна). У області додаткової інформації

також зберігається тип помилки (наприклад, випадкова помилка чи постійна помилка). Багато помилок мають коди, які їм належать, найчастіше це помилки, які впливають на викиди токсичних речовин у відпрацьованих газах. Система також може присвоювати інформацію, не передбачену правилами, наприклад, щодо конкретного обслуговування користувачів для певного транспортного засобу. Після введення помилки проводиться діагностика щодо певних елементів або системи. Якщо це випадкова помилка, яка не виникає більше під час роботи, вона видаляється з пам'яті (за визначеними умовами). Введені помилки можна прочитати за допомогою випробувального пристрою, який рекомендується виробником конкретного автомобіля (це можуть бути, наприклад, діагностичні сканери Scan-Tool чи випробувальні пристрої). Після зчитування діагностичної пам'яті і виправлення помилок їх можна видалити з пам'яті за допомогою випробувального пристрою.

Використання діагностики OBD (On Board Diagnostic) за допомогою покладеного випробувального пристрою вимагає наявності комунікаційного з'єднання. Це діагностичне з'єднання, наприклад, через кабель K (відповідно до стандарту ISO 9141). Це послідовне з'єднання працює із швидкістю передачі в межах від 10 до 10 000 біт \times с⁻¹ і може бути в одножильній формі, зі спільними приймальним і передавальним провідниками, або в двошильній формі - з окремими провідниками L (провід витягування) та K (провід даних). Декілька контролерів можна підключити до одного роз'єму. Адреса витягування передається всім контролерам за допомогою випробувального пристрою. Контролери розпізнають адресу і відправляють розпізнавальні слова. На основі часу між фронтами імпульсу пристрій виявляє передачу, автоматично налаштовується на неї і встановлює зв'язок з контролером [7, 10, 17, 18].

Самодіагностика спочатку обмежувалася лише електричним тестуванням окремих частин. Зі зростанням складності діагностичних функцій разом із додатковим контролем (наприклад, у формі інтерпретаційного тестування) та обов'язком контролю хімічного складу відпрацьованих газів виникла необхідність повного контролю над усією системою діагностики. З цього

приводу була створена система OBD. Вже багато років тривають заходи щодо зменшення емісії токсичних речовин у відпрацьованих газах. Максимальні значення емісій, які повинні виконувати виробники автомобілів, вимагали постійного моніторингу роботи двигуна та його груп. Задані законодавцем значення були упорядковані і обсяг діагностики як для всієї системи, так і для її найважливіших частин з точки зору емісії газів, було врегульовано. У Сполучених Штатах в 1988 році був введений в життя OBD I, або перший етап законодавства CARB (Каліфорнійська рада ресурсів повітря). Згідно з його положеннями всі нові транспортні засоби, які були допущені до руху в Каліфорнії, повинні були відповідати цим правовим вимогам. Другий етап - OBD II, був введений в дію у 1994 році. В інших штатах, з того ж року діяло федеральне законодавство EPA (Агентство з охорони навколишнього середовища), обсяг положень якого в основному відповідав OBD II (за винятком деяких послаблень вимог у певних пунктах). В Європі з 2000 року діє OBD, пристосоване до європейських умов, яке має назву EOBD (Європейська он-бордова діагностика). Сучасні вимоги EOBD в основному відповідають умовам, визначеним у EPA-OBD [8, 15, 17, 18, 23].

Перший етап OBD або так званий CARB-OBD, призначений для перевірки на коротке замикання та відсутність з'єднань електричних компонентів, які мають важливе значення для хімічного складу відпрацьованих газів. Електричні сигнали повинні знаходитися в раніше визначених інтерпретованих межах. Водій повідомляється про виявлення помилки за допомогою діагностичного світлового індикатора, розташованого на панелі приладів. Ознайомитися, які саме частини є пошкодженими, можливо, наприклад, за допомогою світлових кодів, що з'являються на ламповому діагностичному приладі, підключеному до автомобіля. Процес діагностування на другому етапі, або так званому CARB-OBD II, значно виходить за межі OBD I. Поза контролем електричних сигналів також перевіряються функції системи. Саме перевірки, чи електричний сигнал датчика температури двигуна не перевищує встановлених меж, вже недостатньо. Помилка може полягати в тому, що, наприклад, температура двигуна протягом

тривалого часу була надто низькою і становила 10°C, що вимагає перевірки та пояснення. OBD II вимагає контролю над системами та їх частинами, якщо їх несправне функціонування призводить до значного збільшення викидів шкідливих речовин. Крім того, перевіряються всі частини, які впливають на результат діагностики. Кожна помилка повинна бути запам'ятована, водночас кожне ненормальне функціонування сигналізується світінням діагностичного індикатора на панелі приладів. Всі запам'ятовані помилки будуть зчитані за допомогою тестера для кінцевої діагностики. Законодавство OBD II містить відповідні стандарти SAE (Спілка інженерів автомобільної промисловості) з інформації про запам'ятовані помилки, які також відповідають ISO 15031. Це дозволяє зчитувати помилки за допомогою доступних на ринку стандартних тестерів. Для кожної контрольованої частини та для всієї системи функції діагностики повинні (відповідно до принципів) пройти щонайменше один цикл випробування викидів (наприклад, NEFZ або FTP75). Управління системою діагностики дозволяє динамічно змінювати порядок виконання окремих діагностичних функцій, залежно від способу водіння. Ключовою є те, щоб кожна функція діагностики активувалася достатньо часто під час щоденної експлуатації автомобіля [8, 15, 17, 20, 22, 26].

Всі частини та системи автомобіля, несправність або поломки яких призводять до суттєвого погіршення якості відпрацьованих газів, повинні піддаватися контролю за допомогою OBD управління двигуном. Якщо встановлені межі значень (діагностичні пороги) будуть перевищені, фіксується помилка. Норми EPA та OBD CARB поширюються на кожний легковий автомобіль (з 12 сидінь) та вантажівки масою до 6,35 тонни. З 01.01.2000 року для всіх легкових автомобілів та вантажівок, обладнаних бензиновими двигунами масою до 3,5 тонни та з 9 сидіннями діє EOBD. В межах OBD II (CARB-OBD) передбачено відносні діагностичні пороги. Вони видаються для різних норм викидів, до яких транспортні засоби призначаються під час їх сертифікації. Тому вони мають різний вміст допустимої кількості токсичних

речовин. Однак в європейському законодавстві (EOBD) діють абсолютні діагностичні пороги, які подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Межі концентрацій токсичних компонентів вихлопних газів для CARB і EOBD [18].

Шлях сигналу	Контрольована зона
Датчик зовнішнього тиску	- контроль діапазону сигналу - логічна інтерпретація з датчиком тиску в лінії споживання
Датчик зчеплення	- інтерпретація зі швидкістю руху
Датчик температури повітря	- контроль діапазону сигналу - логічне тлумачення, серед іншого з датчиком температури двигуна
Витратомір повітря	- контроль діапазону сигналу та напруги живлення - логічне тлумачення
Датчик тиску наддуву	- перевіряє з'єднання і струми КЗ - відхилення регулювання тиску наддуву
Напруга акумулятора	- контроль діапазону сигналу - логічне тлумачення впливу швидкості обертання
Привід рециркуляції вихлопних газів	- перевірка відсутності з'єднань і коротких замикань - регулювання рециркуляції - перевірка реакції системи на контроль часу
Датчик педалі гальма	- інтерпретація з резервним підключенням до гальм
Датчик температури двигуна	- контроль діапазону сигналу - логічна інтерпретація в залежності від рівня живлення та дози введення і швидкості обертання
Датчик температури двигуна	- контроль діапазону сигналу - логічна інтерпретація в залежності від рівня живлення та дози введення
Датчик швидкості обертання колінчастого вала	- контроль діапазону сигналу - логічна інтерпретація з датчиком положення розподільчого вала - перевірка змін з часом (динамічна інтерпретація)
Датчик педалі акселератора	- контроль діапазону сигналу і напруги живлення

Згідно з вимогами OBD, кожне електричне з'єднання з контролером повинно бути контрольоване. Деталі, що характеризуються найбільшою важливістю (comprehensive components), такі як, наприклад, датчик масового витрати повітря, повинні бути перевірені не лише електрично (EOBD), але й на надійність (OBD II). Комплексні функції OBD дозволяють перевірити функціональність всієї системи діагностики. У випадку кожного окремого пошкодження, різний вплив помилок вимагає відмінної реакції. В рамках положень EOBD і CARB-OBD діють різні критерії, подані в таблиці 2. Концентрації окремих компонентів відпрацьованих газів, які можна очікувати в разі певного пошкодження, визначають тип діагностики. Найпростіший тест функціонування (так званий тест "чорне - біле") виключно перевіряє, чи працює або ні певна система чи її фрагмент, наприклад, чи зачиняється і відкривається додатковий випускний клапан. Якісний тест функціонування (так званий flow-check) точно перевіряє логіку системи щодо її функціональності. Наприклад, під час контролю каталізатора, за значеннями вимірювань обчислюється ступінь його старіння (засмічення). Значення цього може бути зчитане за допомогою діагностичного роз'єму. Складність діагностики зростає із збільшенням вимог в межах наступних законодавчих актів. Сучасні системи OBD потребують близько 50% обчислювальної потужності, яку має система Motronic.

Таблиця 2.2 – Процеси діагностики та реакції на помилки згідно з положеннями CARB, EPA і EOBD. Складено на основі [18].

Правовий стандарт	Гранично допустимі токсичні концентрації
EOBD	абсолютні значення: - CO: 1,9 г/км - HC: 0,3 г/км - NOx: 0,5 г/км

Контрольна лампа несправності MIL (Malfunction Indicator Lamp) сигналізує водієві автомобіля про пошкодження (неправильну роботу). Згідно з положеннями EPA і CARB, після виявлення помилки лампа має ввімкнутися не пізніше ніж після двох циклів тестування (в системі) з помилкою. У автомобілях

з EOBD лампа MIL повинна сигналізувати про виявлену помилку не пізніше ніж під час третього циклу (рішення про ідентифікацію помилки приймається протягом не більше 10 циклів тестування). У випадку самостійного усунення помилки, наприклад, через ненадійний контакт, вона записується в пам'яті як рідкісна помилка і вилучається після 40 правильних циклів. Після трьох циклів без виявленої помилки лампа вимикається. Помилки, які призводять до пошкодження каталізатора (наприклад, випадіння іскор), призводять до блимання лампи MIL.

Безпосередньо після виявлення помилки повинні бути введені запасні значення (наприклад, запасне значення температури двигуна) або аварійні дії (наприклад, обмеження потужності двигуна). Вони призначені для забезпечення безпеки руху, уникнення небажаних наслідків (наприклад, перегріву каталізатора) та зменшення викидів токсичних компонентів. Однак функції діагностики працюють лише тоді, коли виконані умови їх активації (зокрема, обертові моменту, температурні пороги двигуна чи обертових моментів). Функції двигуна і діагностики не обов'язково працюють одночасно. Є певні умови, при яких призупиняється робота деяких з них, наприклад, система провітрювання бака не активується, якщо в цей час діагностується каталізатор. У певних ситуаціях також необхідно тимчасово відключити діагностичні функції, щоб уникнути ідентифікації помилок в нестандартних умовах, наприклад, при низькій напрузі акумулятора, для низької температури запуску двигуна (нижче -7°C), на великій висоті (понад 2400 метрів над рівнем моря згідно з CARB-OBD або 2500 метрів згідно з EOBD) чи для невеликого наповнення бака (менше 20% його номінальної місткості згідно з EOBD або менше 15% згідно з CARB-OBD) [17, 18, 20, 22].

У таблиці 2.3 наведено частини та системи, які контролюються згідно з EOBD та OBD II.

Таблиця 2.3 – частини та системи, які контролюються згідно з EOBD та OBD II.

Тип правила	Процеси діагностики та реагування на помилки
CARB і EPA	Помилка, що призводить до концентрацій токсичних компонентів нижче 1,95 разу рівня граничного значення
	– індикація помилок тільки з сервісним тестером
	Похибка, що призводить до концентрацій токсичних компонентів менше ніж у 1,5 рази рівня граничного значення:
	- функціональний тест (так звана "чорно-біла" перевірка), - виявлення помилок за допомогою тестера ламп - виявлення помилок за допомогою діагностичного засобу (Scan-Tool)
	Помилка, що призводить до концентрації токсичних компонентів, що перевищує рівень більш ніж у 1,5 рази граничне значення
	- якісний тест на працездатність, - виявлення помилок за допомогою тестера ламп - виявлення помилок за допомогою діагностичного засобу (Scan-Tool)
EOBD	Помилка, яка не викликає концентрації токсичних інгредієнтів вище граничних значень
	- перевірка електричних з'єднань або перевірка діапазону значень в мінімальні/максимальні обмеження, - виявлення помилок за допомогою тестера ламп - виявлення помилок за допомогою діагностичного засобу (Scan-Tool)
	Помилка, що спричиняє концентрації токсичних інгредієнтів вище граничних значень:
	- якісний тест на працездатність, - виявлення помилок за допомогою тестера ламп - виявлення помилок за допомогою діагностичного засобу (Scan-Tool)

Під час перевірки діагностичної пам'яті дуже важлива інформація про те, чи функції діагностики хоча б раз проявляли неналежну дію. Це можливо

визначити шляхом зчитування кодів готовності за допомогою діагностичного роз'єму. Після завершення ключових діагностичних тестів такі коди стають доступними. Якщо транспортний засіб не відповідає вимогам законодавства OBD, його власник повинен отримати від виробника відшкодування витрат.

Діагностування в межах OBD керується DSM (Diagnostic System Management) - системою управління діагностикою. Вона складається з трьох компонентів: DFPM (Diagnosis Fault Path Management), DSCHEDED (Diagnostic Function Scheduler) і DVAL (Diagnosis Validator) (рис. 2.2) [17, 18, 20, 24].

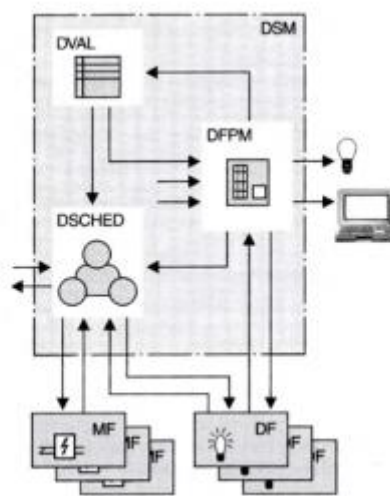


Рисунок 2.2 – Схема управління діагностикою (DSM), де: DFPM - управління діагностичними шляхами зі Scan-Tool, керування MIL та пам'яттю помилок, DSCHEDED - програма для упорядкування діагностики, DVAL - упевнення діагнозів, DF - діагностичні функції, MF - функція керування двигуном

DFPM, або управління діагностичними шляхами, передусім повинно запам'ятовувати помилки, які виявляються в системі. Пам'ять цього модуля також містить інформацію про умови оточення та іншу важливу при усуненні помилок. DFPM також керує світлом MIL та взаємодіє з комунікацією тестера Scan-Tool (разом із пам'яттю помилок). DSCHEDED з іншого боку є програмою планування діагностування, яка неперервно координує діагностичні та двигунні функції. Під час роботи вона використовує інформацію, що надходить з DFPM та DVAL. Модулі, які потребують запитань від DSCHEDED повідомляють про свою готовність контролю стану системи, а також активації функцій. Програма

DSCHEД складається з трьох часткових функцій. Перша з них - Inhibit Handler - блокує функції у випадку, якщо їхні можливості вимагають корекції. Друга – Prio-Handler залежно від різних параметрів обчислює поточний пріоритет для кожної функції. Остання – Prio-Scheduler шукає в таблиці виключень ті функції, які не повинні одночасно працювати разом з іншими.

Таблиця 2.4 – Системи і частини, які контролюються EOBD та OBD II

Діагностичні функції	Примітки щодо окремих компонентів OBD	Увага
Рециркуляційна діагностика відпрацьованих газів вимагається EOBD у разі перевищення	розташований датчик тиску у впускній трубі	граничні значення викидів або деблокування інших видів діагностики
Вентиляційний клапан резервуара (система видалення пари палива)		для OBD перевірка електричних з'єднань
Перевірка герметичності бака пального	датчик тиску розташований в баку	не потрібно в OBD
Перевірка функціональності інших систем відповідальних за викиди відпрацьованих газів		вимагається EOBD у разі перевищення граничних значень викидів або деблокування інших видів діагностики
Ідентифікація рівня палива	датчик рівня палива в баку	у випадку EOBD необхідна найменша електрична діагностика протягом запуску діагностичних функцій для заповнення бака менше 20% номінальної місткості
Перевірка каталізатора		λ зонд, розташований ззаду каталізатора

Первинний контроль вторинного λ зонду		для електричної діагностики вторинного зонда необхідно відключити діагностику каталізатора
Перевірка передачі сигналів λ зонда		сигнали завантажуються за допомогою діагностичного роз'єму
Діагностування живлення і вторинного датчика λ зонда		електричну діагностику необхідно провести в залежності від діагнозу каталізатора
Нагляд за системою живлення		контроль вентиляції бака і адаптація суміші
Ідентифікація пропуск запалювання	датчик частоти обертання	
ідентифікація нерівномірності обертання	датчик прискорення або датчик обертів коліс	призводить до вимкнення запалювання, (не згідно OBD) мінімальна електрична діагностика компонентів
контроль надійності вхідних сигналів		вимагається EOBD у разі перевищення граничних значень викидів або деблокування інших видів діагностики. Рекомендується перевірка EOBD виявлених помилок на СТО
Вихідна діагностика (кінцеві етапи)	елементи вихідних ступенів	перевірка з'єднань проводів і коротких замикань частин, які відповідають за викиди відпрацьованих газів
Інтерфейс Scan-Tool	стандартизований DLC	
Запам'ятовування Freeze Frame	датчик швидкості автомобіля	запам'ятовування відстані проїзду з файлу
Індикатор помилки	керування помилками MIL	

DVAL, що є програмою перевірки діагнозів, на основі записів у діагностичній пам'яті та додатково збереженої інформації, приймає рішення для кожної виявленої помилки, чи сталися реальні причини неправильної роботи, чи це була помилка наслідків. Результатом його дії є визначення достовірної, впевненої інформації для діагностичного тестера (за допомогою якого здійснюється зчитування діагностичної пам'яті). Діагностичні функції можуть надаватися у будь-якому порядку, незалежно від наслідків, які несуть окремі помилки. Кожний вказаний діагноз та його результат додатково оцінюються. У системах без DVAL діагнози мусять чекати на повідомлення "безпомилковий" від інших діагнозів і додатково - чекати на специфічні умови експлуатації. Програма перевірки діагнозів є ключем до швидкого виявлення помилок, а також до відносно швидких ремонтів, навіть у складних системах.

EPA-OBD та EOBD детально, чітко і ясно регулюють виключно окремі системи зменшення викидів. З іншого боку, CARB-OBD II постійно розширює свої специфічні вимоги, які в межах двигунів із запалюванням іскрою включають, зокрема, систему зменшення викидів газів під час холодного запуску, охолодження двигуна, вентиляцію картера, рециркуляцію відпрацьованих газів, систему подачі пального, наддув додаткового повітря, діагностику герметичності бака (система вентиляції бака), каталізатор та його обігрів, систему прямого зменшення кількості озону, змінну фазу газорозподілу, кондиціонер (деталі), датчики лямбда, згоряння (запалювання) та втрату запалювання, Comprehensive Components (так звані комплексні компоненти) та інші компоненти, які відповідають за викиди газів. Чотири останні з наведених також є вимогами EOBD. З іншого боку, дві останні групи елементів або систем (визначені як Comprehensive Components та інші компоненти, які відповідають за викиди газів) розуміються як процесор (призначений для елементів, які визначають якість викидів газів), інші частини та елементи системи обмеження викидів газів та складові системи приводу, несправність або пошкодження яких може призвести до перевищення граничних значень OBD [6, 15, 17, 21].

2.3. Передача даних між електронними системами

Транспортні засоби обладнують все більшою кількістю електронних систем. Це вимагає інтенсивного обміну інформацією та даними, при цьому зростають вимоги до обсягу та швидкості їх передачі. Наприклад, ESP (електронічна програма стабілізації траєкторії руху) обмінюється даними з системою керування двигуном та системою приводу для забезпечення стабільності руху автомобіля. Поза цими системами в автомобілях можна знайти також систему протиблокування гальм (ABS), систему протискання (ASR), адаптивний регулятор швидкості (ACC), систему керування двигуном (Motronic, EDC) та мультимедійні системи разом з їхніми індикаторами. Обмін даними між багатьма системами вимагає відповідного налаштування окремих контролерів. Традиційний спосіб обміну даними, який використовує окремі, відповідно призначені провідники від одного пункту до іншого, стикається з технічними обмеженнями (рис. 2.3). Така складність пучків провідників викликає виконавчі труднощі. Обмежена кількість контактів у роз'ємах викликає проблеми при конструюванні контролерів. В сучасних автомобільних провідниках середнього класу є приблизно 300 роз'єднувачів з приблизно 2000 контактів, а їхня довжина становить приблизно 1,5 км. Вирішення цієї проблеми полягає в застосуванні спеціальної послідовної шини CAN, яка пристосована до автомобільної техніки. CAN (Controller Area Network) - це розвинена лінійна система передачі даних (рис. 10b), яка також знайшла застосування в інших галузях. Дані передаються спільною шиною (кабелем) послідовно, тобто одне за іншим. Завдяки роз'єднувачам CAN, розташованим в контролерах, окремі вузли можуть отримувати та відправляти дані. Такі з'єднання вимагають набагато менше кількості проводів, оскільки на одній шині обмінюється та повторно зчитується велика кількість даних [8, 15, 18].

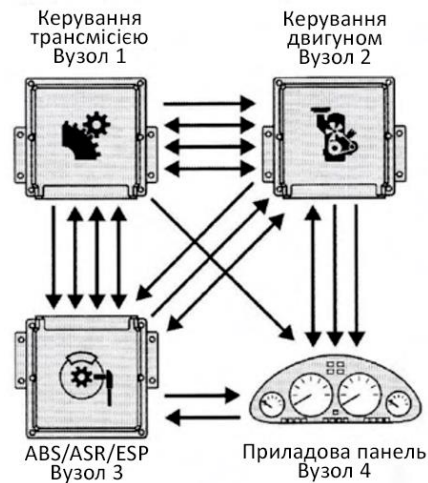


Рисунок 2.3 – Схема традиційної передачі даних

Можна виділити чотири основних області застосування CAN в автомобілях, які відрізняються відповідними вимогами: застосування мультиплексного, мобільного зв'язку, діагностичне та "реального часу". Перше з них дозволяє регулювати та керувати елементами в електронних системах комфорту та кузова, наприклад, для позиціонування сидінь, центрального замка або регулювання кондиціонера. Швидкість передачі даних знаходиться в межах від 10 до 125 кбіт/с (CAN низької швидкості). Застосування CAN в мобільному зв'язку дозволяє користуватися мультимедійними елементами, такими як телефон, навігація, телебачення або аудіо-установки (наприклад, плеєри, радіо), разом із налаштовувальними елементами та індикаторами у транспортному засобі. Передусім ці з'єднання призначені уніфікувати процеси налаштування та стандартизації інформації, поданої таким чином, щоб якнайменше відволікати увагу користувача автомобіля. У межах області мобільного зв'язку передається велика кількість даних із швидкістю до 125 кбіт/с (пряма передача аудіо- та відеоданих у цьому випадку неможлива). У рамках третього типу застосувань - діагностики за допомогою шини CAN, існуюча проводка використовується для контролю за підключеними до мережі контролерами. Сучасність вже відмовляється від діагностики через лінію K (ISO 9141). Діагностичне застосування CAN відзначається великою кількістю передаваної інформації із швидкістю приблизно 250 або навіть 500 кбіт/с. Застосування так званого "реального часу" базується на підключенні різних систем, наприклад,

керуванням приводом, двигуном чи ESP через шину CAN. Швидкість передачі даних у цьому випадку коливається від 125 кбіт/с до 1 Мбіт/с.

Налаштування магістралі CAN у найзагальнішому розумінні полягає в організації та співпраці всієї системи. Вона має лінійну структуру (рис. 10b), тому, порівняно з іншими логічними структурами (зірковою або кільцевою), вона вирізняється меншою ймовірністю пошкодження. Навіть при втраті одного з так званих абонентів вона все ще виконує свої завдання відносно інших. До магістралі CAN можна приєднати контролери, датчики, вказівкові пристрої та виконавчі пристрої, які працюють за принципом Multi-Master. Не потрібне централізоване управління – достатньо управління доступом до магістралі для рівноправних вузлів) [5, 6, 8, 16, 18].

Адресація інформації в межах системи CAN відбувається згідно з вмістом вузлів, а не їх адресами. Кожне повідомлення має свою назву, тобто індивідуальний ідентифікатор, що вказує на зміст інформації (наприклад, оберти двигуна). Ідентифікатор може бути 11 (стандартний) або 29-бітним (розширений або розширений формат). Після зчитування ідентифікатора повідомлення кожен з абонентів повинен прийняти рішення, чи потрібне йому повідомлення, відправлене магістраллю. Це відбувається в рамках так званого тесту прийняття (рис.2.4). Цю функцію можна реалізувати за допомогою спеціального модуля Full-CAN. Завдяки йому центральний мікроконтролер контролера звільняється від навантаження. Кожен модуль, підключений до магістралі, має доступ до всіх повідомлень. Вибір адресації, яка враховує зміст і відкидає адреси вузлів, забезпечує велику гнучкість системи разом з варіантами обладнання. Коли контролер потребує нових даних, які вже є на магістралі, він може легко їх викликати. Нові вузли також можуть приєднуватися до магістралі CAN, і не потрібно змінювати існуючі вузли.

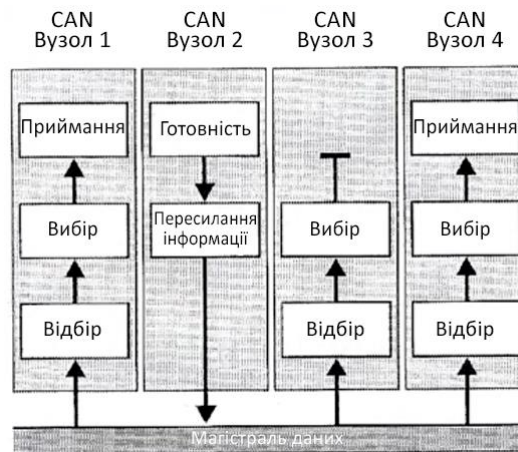


Рисунок 2.4 – Схема адресації та тесту прийняття, де вузол 2 надсилає, а вузли 1 і 4 приймають дані

Ідентифікатор повідомлення, крім вмісту даних, також містить його пріоритет, тобто порядок конкретного повідомлення в доступі до шини. Ідентифікатор, який відповідає невеликій кількості бінарних ознак, характеризується високим пріоритетом, в той час як той, який має велику кількість, характеризується низьким пріоритетом. Пріоритети інформації, як правило, надаються відповідно до швидкості зміни вмісту або їх значущості в контексті безпеки роботи транспортного засобу. Інформація не має однакових пріоритетів. Коли шина CAN вільна, а повідомлення готові до передачі, кожен з вузлів може розпочати передачу. Так званий бітовий арбітраж (рис. 2.5) дозволяє уникнути конфліктів в області доступу до шини. Інформація з найвищим пріоритетом передається без втрати часу та даних (протокол недеструктивний). Протокол CAN використовує два логічних стани: 0 і 1. Шина приймає значення логічного множення бітів, які надсилаються з кожного вузла. Вузол, що висилає стан 1, коли інші надсилають 0, втрачає доступ до шини. Доступ отримує вузол, який останнім висилає стан 0, коли інші висилають 1. На шину CAN потрапляє інформація від вузла з найвищим пріоритетом, тобто з найменшим ідентифікатором. Відправник інформації з меншим пріоритетом автоматично переходить до режиму прийому, і коли шина знову вільна, він повторює спробу передачі. Шина повинна бути пристосована до кількості абонентів, щоб всі дані

(інформація) могли доходити. Для даних, які постійно змінюються (наприклад, крутний момент двигуна), встановлюється оптимальний час циклу u [8, 15, 18].

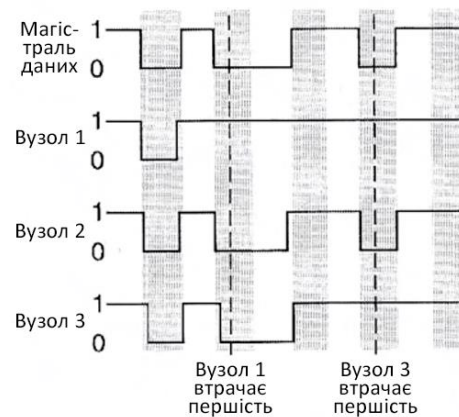


Рисунок 2.5 – Схема бітового визначення пріоритетів у випадку надання пріоритету вузлу 2 (сигнал з вузла 2 є сигналом магістралі), де: 0 - низький рівень, 1 - високий рівень [40].

CAN допускає два відмінних формати комунікатів, що відрізняються бітовою довжиною ідентифікатора. Як вже зазначалося раніше, стандартний формат має 11-бітовий ідентифікатор, тоді як розширений формат — 29-бітовий. Ці формати є сумісними і можуть бути використані разом у межах однієї мережі. Дана рамка складається з семи полів (рис. 2.6) і максимально може мати 130 бітів (стандартний формат) або 150 бітів (розширений формат). Під час спокою (IDLE) шина знаходиться в стані 1 біт. Start of Frame, або початок комунікату, і одночасно синхронізує всі вузли. Поле Arbitration Field містить вказаний ідентифікатор і біт контролю. Під час передачі цього поля перевіряється кожен біт з метою контролю, чи передавач ще має право передавати, чи вузол із вищим пріоритетом повинен отримати доступ до шини. Біт контролю, який слідує за ідентифікатором, має позначку RTR (Remote Transmission Request) і призначений визначити, чи відбувається передача даних від надсилача (Remote Frame). Наступне поле – Control Field, складається з біта, який вказує на тип ідентифікатора – один біт IDE (Identifier Extension Bit) розширений (IDE = 1) або стандартний (IDE = 0), зарезервованого біту (для майбутніх застосувань) і чотирьох бітів, які визначають кількість байтів даних, що знаходяться в наступному полі (Data Field). Це дозволяє отримувачу визначити, чи він вже

отримав всі дані. Четверте поле, тобто Data Field, складається від 0 до 8 байтів інформації про дані. Байт "0" є байтом синхронізації трансмісії випадкового характеру, оскільки в межах одного комунікату можлива передача кількох різних сигналів (наприклад, оберти двигуна і його температура). Поле CRC Field (Cyclic Redundancy Check), або так зване контрольне слово, містить слово, яке служить для виявлення помилок передачі. Поле ACK Field (Acknowledgement – підтвердження) дозволяє, з іншого боку, підтвердити правильне отримання повідомлення. Сьоме поле – End of Frame, складається з семи одиниць, які визначають кінець повідомлення. Поле Inter Frame Space складається з трьох бітів, які розділяють повідомлення, які слідують одне за одним. Після їхнього прийому шина знову переходить в стан спокою (стан IDLE), доки наступний вузол не розпочне передачу. Зазвичай передавач ініціює передачу даних, відправивши кадр. Однак існує можливість виклику даних від надсилача отримувачу. У такому випадку відправляється Remote Frame [8, 15, 18].

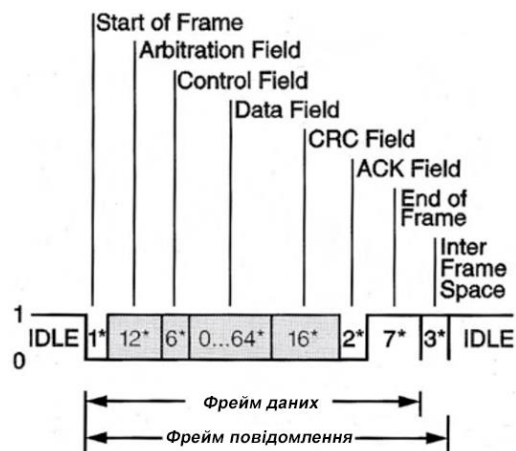


Рисунок 2.6 – Схема формату комунікації (повідомлення)

0 - низький рівень, 1 - високий рівень [40].

У рамках протоколу CAN вбудовані механізми контролю для виявлення помилок. Отримане значення CRC Field порівнюється з послідовністю, обчисленою на основі повідомлення. Для Frame Check розпізнаються помилки кадру, оскільки перевіряється його структура. ACK Check зі свого боку є підтвердженням одержувача, що він отримав повідомлення. Відсутність цього підтвердження може вказувати, наприклад, на помилки передачі. Моніторинг

означає, що передавач слідкує і порівнює (на рівні шини), чи є різниця між переданим і перевіреним бітом. В Code Check відбувається перевірка дотримання правила Bitstuffing. Правило ущільнення (stuffing) вказує, що для кожного Remote Frame або Data Frame, між Start of Frame та кінцем CRC Field може слідувати максимум п'ять бітів, які мають однакове значення. Після кожної послідовності п'яти таких самих бітів передавач вставляє біт із протилежним значенням. Одержувач, зі свого боку, ігнорує всі вставлені таким чином біти після отримання повідомлення. Завдяки Bitstuffing можливо виявлення помилок передачі. Коли вузол визначає помилку, поточна передача даних припиняється, і відбувається передача комунікату Error Frame, який складається з шести нулів. Цей комунікат спеціально порушує правило ущільнення, щоб завадити іншим вузлам отримати помилкове повідомлення. Пошкоджені вузли можуть серйозно перешкоджати комунікації на шині, тоді як відправлення невірної інформації призведе до припинення передачі Error Frame. Для запобігання таким ситуаціям шина CAN обладнана механізмом відрізнення постійних перешкод від випадкових, завдяки чому можливо визначити втрату вузла [5, 8, 16, 18].

З огляду на зростаючу обчислювальну потужність систем та збільшення масштабів інтеграції, зростають і вимоги до області взаємодії систем. До цього додаються нові системи, зокрема, пов'язані з електронікою для користувачів. У зв'язку з різноманітністю областей застосування та вимог, стало необхідним використання у сучасних автомобілях з'єднань через шини. Окрім електронних систем передачі даних, все більше значення набувають також оптичні системи в області мультимедійних систем. Такі шини відзначаються великою швидкістю та можливістю передачі великої кількості даних, що необхідно для аудіо- та відеопристроїв. Ці з'єднання дозволяють вбудовувати в інтегровану бортову систему багато різних функцій, які раніше були окремими. У такій системі обмін інформацією здійснюється саме через шини даних. Реалізація таких значно розширених функцій вносить необхідність у виникнення пов'язаних узгоджень щодо роз'ємів та вмісту функцій. Ці вимоги призвели до розвитку концепції, спрямованої на систематизацію та опис усіх систем регулювання та управління

в автомобілі. Прикладом є розроблена в компанії Bosch система CARTRONIC®. Типова конфігурація розподілу функцій, керованих центральним координатором, представлена на рисунку 2.7. Окремі функції можуть мати різні контролери. Внаслідок поєднання елементів та системи з'являються абсолютно нові функції, наприклад, можливість оптимізації перемикачів передач в приводі шляхом обміну даними між навігаційною системою та системою управління приводом. Зокрема, завдяки використанню навігації, фари можуть, серед іншого, адаптувати потік світла до визначеного маршруту та різних ситуацій під час руху (наприклад, на перехрестях). Навігація разом із Інтернетом, телефоном, телебаченням, плеєрами, радіо та іншими вихідними пристроями може бути об'єднана в єдину мультимедійну систему.

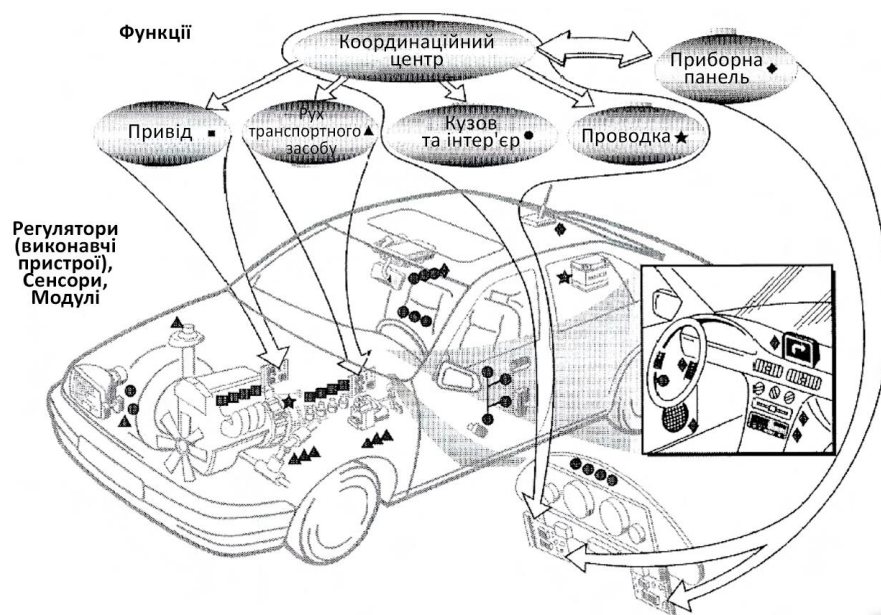


Рисунок 2.7 – Схема системи CARTRONIC®

1 – регулятори та датчики (вхідні сигнали), 2 – контролер, 3 – виконавчі пристрої, 4 – роз'єм для інших систем, 5 – діагностичний роз'єм [40].

РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. План і програма аналізу

Щоб досягти мети роботи, необхідно буде визначити дію контролера двигуна з іскровим запалюванням. У наш час управління роботою двигунів СІ здійснюється за допомогою спеціальних комп'ютерів. Вони дозволяють, серед іншого здійснювати контроль: дозування палива, параметрів запалювання, параметрів запуску двигуна, збагачення суміші, датчиків детонації, газорозподілу та тиску наповнення робочої суміші. Для цієї мети на ринку представлено кілька типів пристроїв. Один із найпопулярніших пристроїв у світі є пристрій ECUMaster EMU Black, який дозволяє професійно оптимізувати роботу контролерів двигунів з іскровим запалюванням.

У рамках виконання завдань роботи буде оптимізовано роботу контролера вибраного двигуна з іскровим запалюванням. Будуть введені принципи контролю дозування палива, параметрів запалювання, параметрів пуску двигуна, збагачення робочої суміші, параметрів зовнішніх пристроїв, холостого ходу, датчиків детонації, фаз газорозподілу, тиску наддуву, крутного моменту і параметрів дорожнього динамометра. Також буде розглянуто процес оптимізації роботи обраного двигуна за допомогою пристрою ECUMaster EMU Black.

3.2. Характеристики пристрою ECUMaster EMU Black

ECUMaster EMU Black (рис. 3.1) є повністю програмованим сервісним комп'ютером для контролю роботи двигунів з іскровим запалюванням [9,17].



Рисунок 3.1 – Пристрій ECUMaster EMU Black

а) зовнішній вигляд комплекту; б) спосіб кріплення на панелі приладів

Прилад дозволяє повністю контролювати паливно-повітряну суміш в закритому середовищі, завдяки використанню широкосмугового λ -зонда. Це дозволяє оптимізувати процес впорскування та запалювання шляхом регулювання кута впорскування, а також проводити контроль палива і детонації, використовуючи найкращий можливий кут випередження запалювання.

Характеризується здатністю обслуговувати максимум 6 циліндрів (повна послідовність впорскування та запалювання), з часом впорскування в діапазоні від 0,1 до 50 мс і роздільною здатністю 16 мкс. Використовує алгоритм розрахунку дози палива Speed Density або Alpha N. Він дозволяє генерувати карту палива 16×20 з роздільною здатністю 0,1% VE, карту AFR 16×20 з роздільною здатністю 0,1 AFR (робота контуру зворотного зв'язку) і карту запалювання 16×20 з роздільною здатністю $0,5^\circ$. В області конфігурації інжектора – дозволяє оптимізувати кут впорскування, калібрування характеристик напруги інжектора або налаштування продуктивності інжектора. Це також дає можливість оптимізувати характеристики заряджання катушок і корекцією часу їх заряджання як функції обертів. Підтримує всі датчики, що забезпечують ефективну роботу двигунів з іскровим запалюванням [5,20].

3.3. Доступні області оптимізації

Прилад необхідно підключити до персонального комп'ютера (за допомогою кабелю USB), на якому раніше було встановлено спеціальне програмне забезпечення. Завдяки йому можна змінити всі налаштування у внутрішній пам'яті ECUMaster EMU та зчитування інформації, зібраної під час роботи двигуна (так звані колодки). Після запуску програми з'являється початкове вікно з інтерфейсом, яким можна користуватися, розділене на п'ять основних областей: меню, список параметрів, робочий стіл, список подій і статус колодки (рис. 3.2).

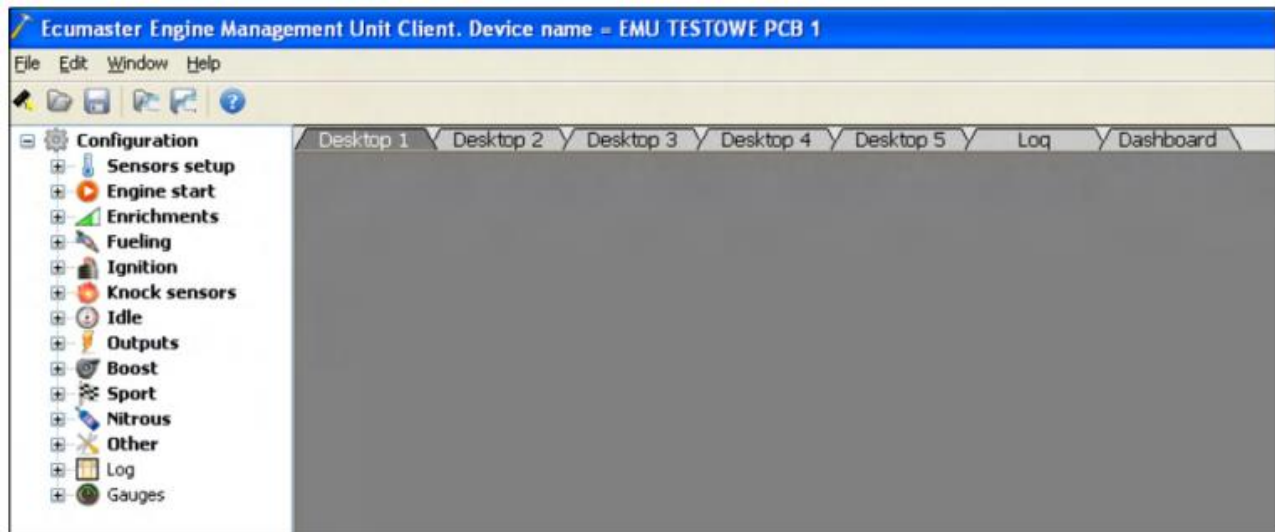


Рисунок 3.2 – Вікно пристрою ECUMaster EMU Black

Меню відповідає макету системи Windows, є інтуїтивно зрозумілим і забезпечує швидке виконання основних завдань.

Меню поділено на чотири вкладки: Файли, Правка, Windows/Робочі комп'ютери та Довідка (рис. 3.3). У лівій частині початкового вікна є список параметрів для зміни конфігурації пристрою ECUMaster EMU Black (рис. 3.2). Вони були згруповані разом, утворюючи одне ціле. Одним клацанням миші отримується доступ до всіх елементів керування у вибраній категорії.

Категорія «Налаштування датчиків» дозволяє налаштувати всі основні датчики двигуна. У свою чергу, категорія «Запуск двигуна» містить параметри для налаштування параметрів завантаження. Категорія Enichments дає можливість оптимізувати рівень збагачення суміші, тоді як категорії Feueling і Ignition відповідають за дозу палива і кут випередження запалювання (KWZ). Датчики детонації дають вибір конфігурації датчиків детонації. Idle відповідає за холостий хід, а Outputs дозволяє керувати виходами, такими як паливний насос або вентилятори. В межах категорії Boost дозволяється змінювати параметри керування налаштування DBW електронної дросельної заслінки та VVT – змінювати налаштування фаз газорозподілу. Визначено функції порту розширення, для якого використовують категорію Ext. порт, а також для реєстрації та відображення параметрів Для аналогових годинників призначені категорії Log і Gauges відповідно.

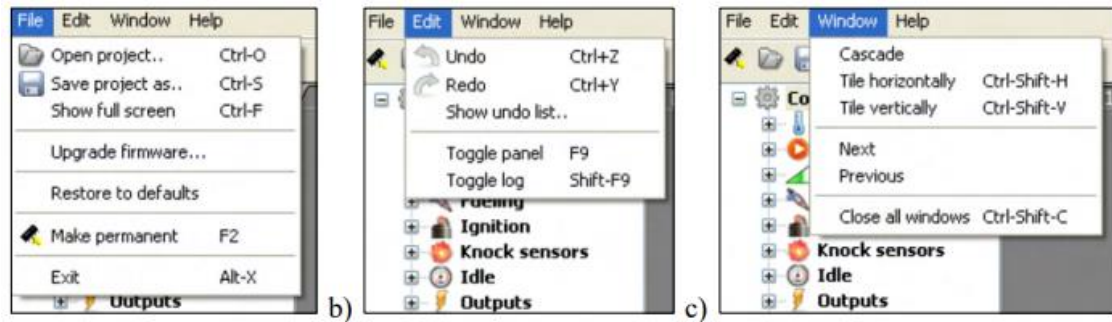


Рисунок 3.3 – Пристрій ECUMaster EMU Black:

a) меню Files, b) меню Edit, c) меню Windows/Desktops

Ще одна важлива функція програмного забезпечення ECUMaster EMU Black можливість перемикання робочих столів, яка доступна у вкладці «Вікно». Доступно сім робочі столи, де можна розмістити будь-які елементи зі списку вікон параметрів (знаходиться з лівого боку). Це дозволяє швидко переключатися з певної групи вікон до наступної. Пристрій ECUMaster EMU оснащений кількома основними інструментами, які можна розділити на вісім типів: Wizard, Paramblock, Table 2D (2D карта), таблиця 3D (3D карта), візуальний журнал (журнали параметрів), журнал графіків (графічні журнали параметри), Score (осцилограма) і Gauge (індикатор) [10].

Wizard – це інструмент, який дозволяє дуже швидко вибрати раніше збережену, конкретну конфігурація вибраного датчика. Приклад майстра датчика ІАТ наведено на рис. 3.4а. Перша комірка правого стовпця відображається як розкривний список і дозволяє вибрати відповідні характеристики серед визначених виробником пристроїв, наприклад інжекторів, або завдяки опції, визначеній користувачем. Також дозволяє відкривати чистий стовпець для заповнення значень для датчиків, не визначених у програмі [10]. Paramblock – це таблиця, що містить параметри, пов’язані з конфігурацією функції ECUMaster EMU Black (рис. 3.4b). Дозволяє встановити всі параметри, необхідні для налаштування певної функції. Таблиця блоків параметрів завжди має лише два стовпці, а кількість рядків залежить від налаштованої функції.

Комірки лівого стовпця містять описи функцій, а комірки правого стовпця – їхні значення. Збереження спеціальних блоків параметрів є корисними під час обміну даними з іншими людьми, які використовують пристрій, або для створення власної бази даних налаштувань, наприклад, конфігурації конкретних систем запалювання [10].

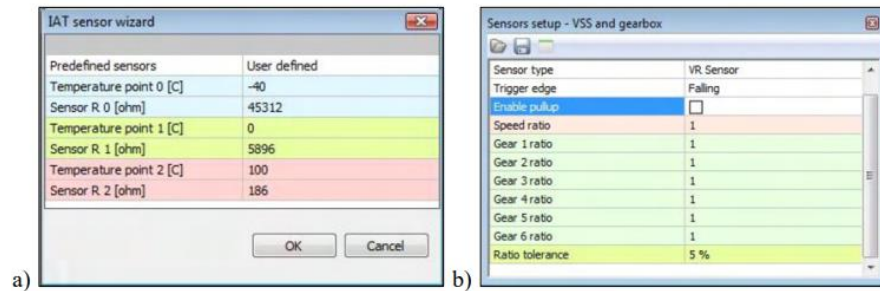


Рисунок 2.4 – Вікно програми пристрою ECUMaster EMU Black

а) з майстром датчика IAT, б) з таблицею блоків параметрів для датчика VSS

Таблиця 2D – це двовимірні діаграми, які використовуються для опису (як назва wass) двовимірної нелінійної функції (рис. 3.5). Внизу вікна є стіл, який містить значення, показані на діаграмі. Є можливість змінити вміст кожної клітини. Значення верхнього ряду відповідають осі ординат, а нижнього ряду – осі абсцис. Для 2D-карти доступна лише горизонтальна проміжна інтерполяція клітини (горизонтальна). Також є можливість виконувати прості математичні операції в раніше виділеній області комірок - в цьому випадку слід ввести значення та арифметичний оператор [10].

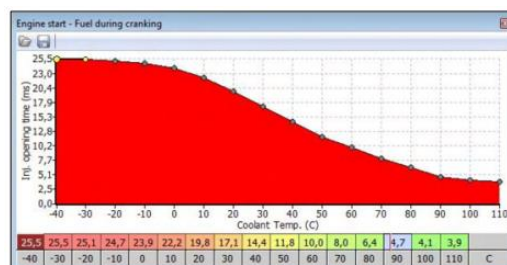


Рисунок 3.5 – Вікно програми з 2D-картою пристрою ECUMaster EMU Black

Table 3D є тривимірними діаграмами, які використовуються для опису тривимірних нелінійні функції (рис. 3.6). Вони складаються з таблиці, які визначають значення, що описують осі ординат і абсцис. Їх можна змінити вручну або за допомогою майстра контейнерів Axis. Для 3D карт можлива горизонтальна, вертикальна або діагональна інтерполяція. У цьому випадку також можна виконувати арифметичні операції у вибраній області комірки, ввівши певне значення та математичний оператор [10].

Візуальний журнал – це інструмент, який дозволяє відстежувати обрані параметри роботи двигуна в режимі реального часу (рис. 3.7). Всі дані згруповані за функціями [10].

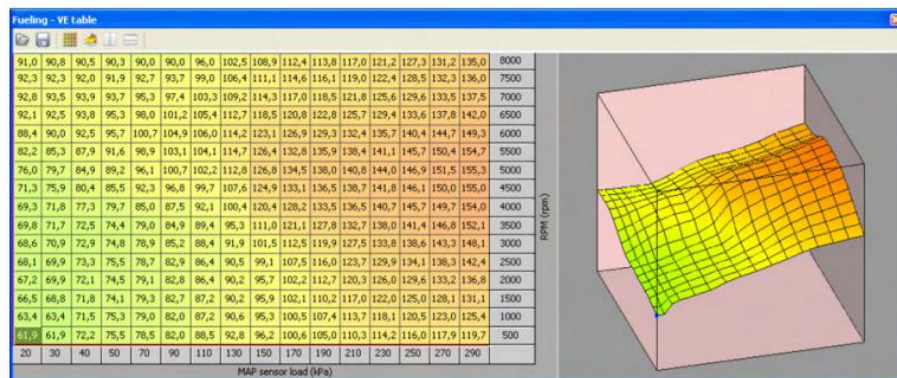


Рисунок 3.6 – Вікно програми з 3D-картою пристрою ECUMaster

Name	Value	Unit
RPM	6000	RPM
MAP	113	kPa
TPS	85	%
IAT	43	C
CLT	63	C
Battery voltage	13,57	V
TPS Rate	0	%/s
VE	65,80	%
EMU State	RUNNING	
EGT #1	0	C
EGT #2	0	C
Acc. Enrichment	0	%
EMU Reset	0,00	
BARO	103	kPa

Рисунок 3.7 – Вікно програми з журналом параметрів пристрою ECUMaster

Графічний журнал дозволяє аналізувати робочі параметри двигуна і самого пристрою ECUMaster EMU Black (рис. 3.8). Дані представлені у вигляді графіків. Після наведення курсора на певну точку на діаграмі значення доступні читання. Це надзвичайно важливо через те, що він використовується для створення карт і

пошуку можливих проблем. Він дозволяє аналізувати до восьми вибраних каналів одночасно, із записом усіх каналів [10].

Осцилограф дозволяє відстежувати хід вхідних сигналів (первинний тигер, вторинний тигер і САМ#2) (рис. 2.9). Інструмент дозволяє визначати види датчиків положення валу шестерні та проводити перевірку правильної конфігурації полярності датчиків або збереження записаних сигналів. Правильне зчитування сигналів від розподільних валів можливе шляхом отримання сигналів від датчика, підключеного до входу первинного тигеру [10].

Датчик – це інформаційний інструмент, призначений для контролю в часі фактичних значень окремих параметрів (рис. 2.10). Він складається з аналогового індикатора зі стрілкою шкали 270° і цифрового індикатора з цифровою шкалою [10].



Рисунок 3.8 – Вікно програми з графічним журналом параметрів

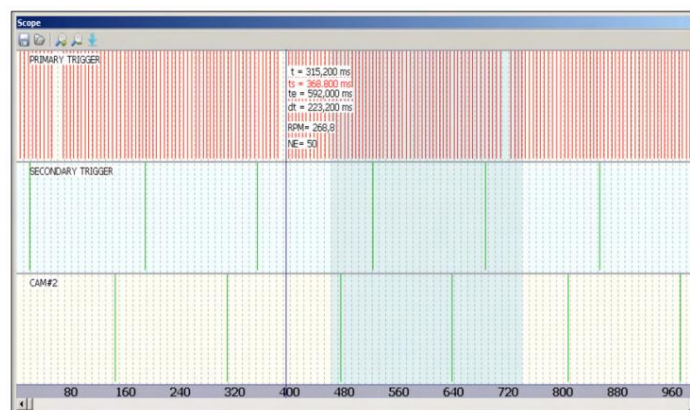


Рисунок 3.9 – Вікно програми з осцилографом (Scope), де t – струм час у формі хвилі, t_s - час початку вибраної області, t_e - час закінчення вибраної області, dt – час виділення ($t_e - t_s$), RPM - оберти двигуна за час виділення, NE - кількість країв у виділеній області



Рисунок 3.10 – Вікна програм із зразковими індикаторами

3.4. Датчики, що використовуються під час дослідження

Під час підключення ECUMaster EMU Black надзвичайно важливим є з'єднання його мас і прокладання їх в установці автомобіля. Маси не можуть створювати петлі (контури заземлення). До них належать: заземлення пристрою, який живить його (контакт В17), точка заземлення для датчиків (аналог заземлення – контакт В18) і так звані силові наземні з'єднання для живлення виходів запалювання та виходів потужності (G17, G24 та В24). Маса пристрою і силові заземлюючі маси повинні бути підключені до однієї точки маси на блоці або головці двигуна та прокладено через окремі кабелі. Живлення повинно здійснюватися від вимикача запалювання через запобіжник (3А) (рис. 3.11) [10].

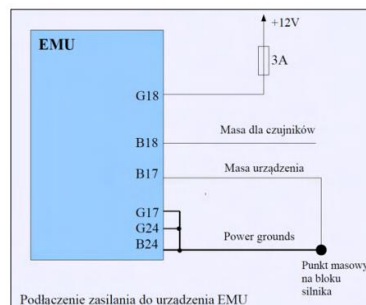


Рисунок 3.11 – Схема підключення заземлення до пристрою ECUMaster EMU Black

Пристрій ECUMaster EMU Black оснащений кількома типами входів і виходів. Виходи запалювання дозволяють працювати з котушками та соленоїдами пасивного запалювання з вбудованими (або зовнішніми) модулями запалювання. Є інжектори/допоміжні виходи і низькі бічні виходи (перемикання на землі). Форсунками можна тільки керувати, використовуючи виходи інжекторного типу. Для інших елементів (наприклад, реле, електромагнітних

клапанів тощо) можна використовувати як інжекторний, так і допоміжний виходи. Кроковий двигун призначений для керування кроковими двигунами. Їх також можна використовувати для електромагнітних клапанів або реле, якщо їх споживаний струм не перевищує 1 А. У свою чергу частотні входи включають: основний тригер, входи Camsync In #1, Camsync In #2 і входи VSS In. Вони співпрацюють з датчиками Холла та VR. Пристрій також має аналогові входи - в тому числі входи, призначені для конкретних датчиків (наприклад, IAT, CLT, TPS) і універсальних входів, які можна використовувати для підключення додаткових датчиків або використовувати як входи для активації певних функцій (наприклад, перемикачів наборів карт) [10].

В електроустановках автомобіля є кілька типів датчиків. Це датчики опору, напруги, магнітоіндуктивні та оптичні/Холла. Датчики резисторні використовуються для вимірювання температури охолоджуючої рідини або положення дросельної заслінки (датчики TPS). Датчики напруги відрізняються тим, що величина, яку вони вимірюють, виражається напругою. Це, наприклад, датчики детонації або датчики абсолютного тиску.

З точки зору роботи двигуна, магнітоіндуктивні датчики є вирішальними (рис. 3.12) з визначення положення колінчастого та розподільного валу, оскільки вони дозволяють зчитувати швидкість обертання двигуна, а також оптимізувати кут випередження запалювання та уприскування. Елементи цього типу працюють за принципом індукції електрорушійної сили в обмотці котушки датчика, яка намотується на постійний магніт під дією руху феромагнітного імпульсного колеса.

Індукована напруга пропорційна відстані датчика від імпульсного колеса та його швидкості обертання. Характерною особливістю цього типу елементів є те, що вони мають полярність, що особливо важливо при підключенні до пристрою ECUMaster EMU Black, оскільки необхідна правильна конфігурація поляризації (спусковий край). На низьких обертах двигуна вони дуже чутливі до перешкод, оскільки амплітуда сигналу досягає кількох сотень мілівольт [10].

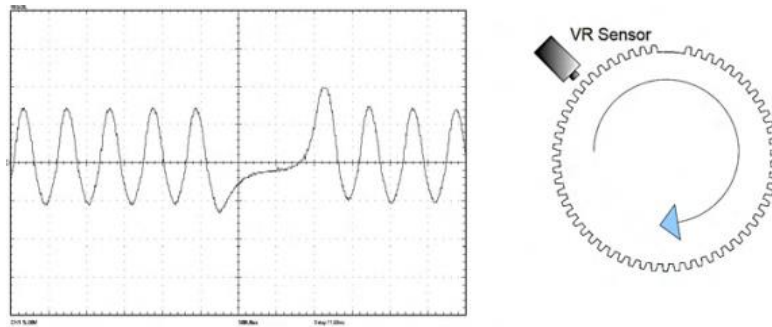


Рисунок 3.12 – Діаграма форми сигналу (у часі) від магнітоіндуктивного датчика положення валу для зубчастого вінця

Другий тип датчиків швидкості обертання - це ті, що використовують ефект Холла (рис. 3.13). На відміну від магнітоіндуктивних датчиків, вони вимагають живлення (зазвичай 5-12 В). Вони також більш стійкі до перешкод сигналу. Характеристики сигналу датчиків положення валу пов'язано з поняттям крайового сигналу. Можна виділити два типи фронту - зростаючий для збільшення значень напруги і спадаючий для зменшення значень напруги. На рисунку 3.13 зростаючі позначені зеленим кольором, а спадаючі – червоним [10].

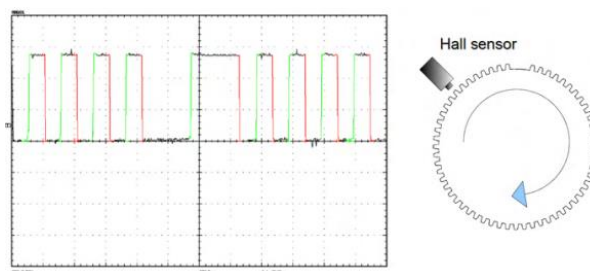


Рисунок 3.13 – Форма сигналу (в часі) від датчика Холла для зубчастого вінця [10]

Калібрування аналогових датчиків виконується з категорії Sensors setup. Датчик температури впускного повітря і датчик температури рідини охолодження, як правило, з негативним температурним коефіцієнтом термістори. Це нелінійні резистори, опір яких залежить від температури матеріалу. Через те, що вони мають негативний температурний коефіцієнт, їх опір зменшується з підвищенням температури. Датчик ІАТ має вирішальне значення для алгоритму визначення дози палива, оскільки на її основі розраховується щільність повітря (щільність повітря). У свою чергу, датчик СЛТ

призначений для визначення температури двигуна, отже дозволяє коригувати дозу палива і правильний контроль за холостим ходом.

2D карти використовуються для калібрування датчиків IAT і CLT. Вони визначають, що напруга створювана датчиком і резистором, вбудованим у пристрій, відповідає певній температурі (рис. 3.14) [10].

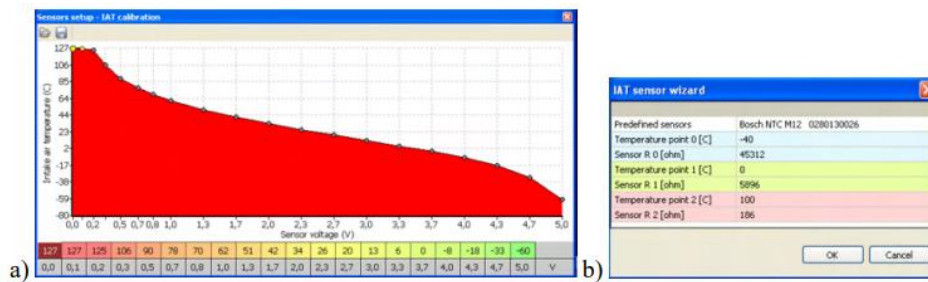


Рисунок 3.14 – Вікно програми з 2D-картою для калібрування датчика IAT (а) та вікно програми з майстром датчика IAT (б)

Наступна група датчиків - датчики тиску, які вимірюють тиск у впускному колекторі двигуна (датчик MAP), а також тиск атмосферний (датчик BARO). Датчик MAP дозволяє визначити навантаження двигуна, що необхідно при розрахунку дози палива і кута випередження запалювання (KWZ).

Це також дозволяє, наприклад, припинити подачу палива, коли значення тиску занадто низьке або перевищує допустиму межу. У випадку датчика MAP слід виміряти тиск у місці, розташованому якомога ближче до дросельної заслінки, щоб його значення найбільшою мірою відповідав середньому значенню тиску у впускному колекторі (рис. 3.15) [10].

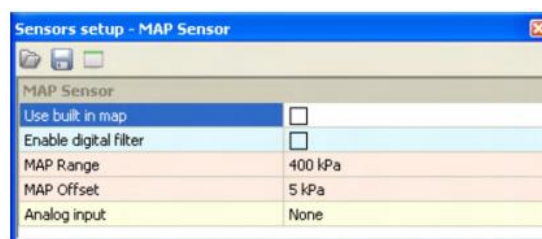


Рисунок 3.15 – Вікно програми з майстром датчика MAP

Іншим важливим датчиком є датчик TPS, який вимірює положення дросельної заслінки (рис. 3.16). Використовується для збагачення паливної суміші при розгоні, припинення подачі палива, активації контролю холостого ходу або керування наддувом. У свою чергу зонд λ дозволяє визначити склад

паливно-повітряної суміші. Пристрій ECUMaster EMU Black підтримує як вузькосмугові, так і широкосмугові смуги зонди. У випадку широкосмугового зонда його слід встановити в місці, де температура відпрацьованих газів нижча за 750°, і датчик повинен бути встановлений на місці якомога ближче до вертикалі [10].

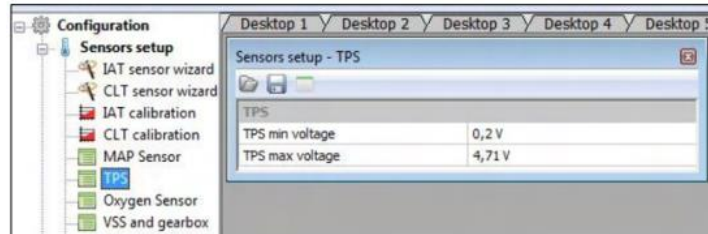


Рисунок 3.16 – Вікно програми з майстром датчика TPS

Датчик швидкості автомобіля VVS найчастіше знаходиться в коробці передач. Використовується для правильної роботи багатьох систем, наприклад, спідометра або електропідсилювач керма. Швидкість автомобіля також можна зчитувати з датчиків ABS. Датчик VVS використовується для регулювання тиску поповнення залежно від швидкості автомобіля, розпізнавання поточної вибраної передачі та власне регулювання швидкості (рис. 3.17) [10].

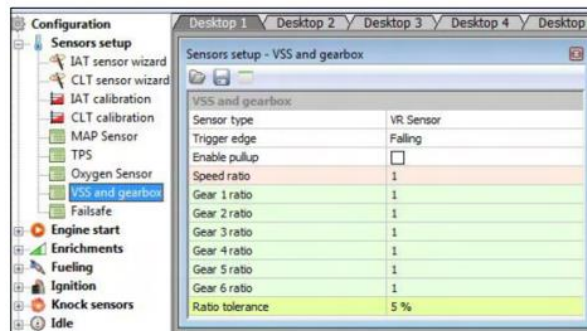


Рисунок 3.17 – Вікно програми з майстром датчика VSS

Іншим типом датчика, який підтримує ECUMaster EMU Black, є датчик температури відпрацьованих газів EGT з використанням терморпарі К. Крім того, до пристрою можна підключити ряд інших датчиків, наприклад, датчик тиску палива або оливи [10].

РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ НАЛАШТУВАНЬ КОНТРОЛЕРІВ ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ECUMASTER EMU BLACK

4.1. Контроль дозування палива

За подачу палива – величину дози та кут впорскування відповідають параметри, доступні в налаштуваннях Fueling (рис. 4.1). Доза регулюється шириною електричного імпульсу в обмотці котушки інжектора. Безпосередньо до ECUMaster EMU Black може підключати лише високоомні інжектори ($\geq 8 \Omega$). Інжектори з низьким опором необхідно підключати за допомогою резистора пристрою обмеження струму або додатковим зовнішнім контролером (Peak and hold).

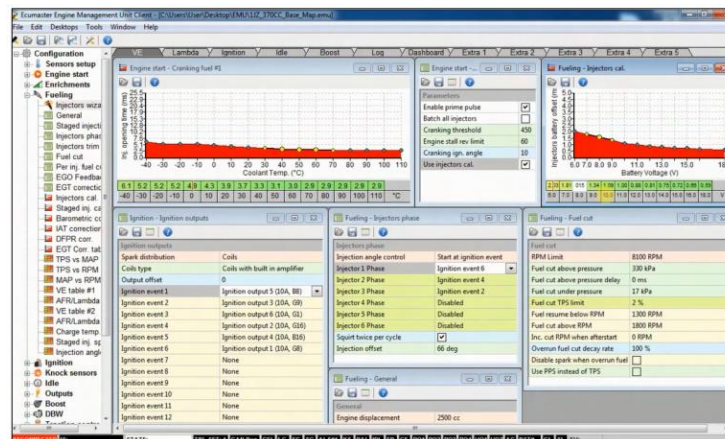


Рисунок 4.1 – Програмні вікна з видимими елементами налаштування Fueling

Щоб мати можливість визначити необхідну продуктивність інжектора, необхідно знати BSFC (питому витрату палива при гальмуванні) двигуна. BSFC – це кількість наявного палива необхідного для генерації однієї кінської сили за годину. Для звичайних двигунів він становить приблизно $5,25 \text{ см}^3 \times \text{хв}^{-1}$, а для турбованих – приблизно $6 \text{ см}^3 \times \text{хв}^{-1}$. Інжектори слід підбирати таким чином, щоб досягти очікуваної потужності при 80% постійного струму (робочий цикл). DC інжектора - це відношення часу його відкриття до часу повного циклу роботи двигуна і виражається у відсотках, наприклад, для чотирициліндрового двигуна для атмосферного двигуна потужністю 150 к. с. це буде $(150 \times 5,25) : (4 \times 0,8) = 246 \text{ см}^3 \times \text{хв}^{-1}$,

$$\text{ККД форсунки} = (\text{потужність двигуна} \times \text{BSFC}) : (\text{кількість форсунок} \times \text{макс. постійний струм}) \quad (4.1)$$

Базовий алгоритм розрахунку дози палива, який використовується для обох двигунів як звичайних так і з турбонаддувом мають алгоритм Speed Density. Характеризується тим, що навантаження двигуна визначається значенням абсолютного тиску у впускному колекторі. Доза палива розраховується наступним чином (маркування відповідає тим, що на пристрої ECUMaster EMU BLACK):

$$PW = INJ_CONST \times VE(map, rpm) \times MAP \times Air\ Density \times Corrections + AccEnrich + InjOpeningTime \quad (4.2)$$

де PW (широта імпульсу) – час відкриття форсунки;

INJ_CONST – константа для заданого об'єму двигуна, розміру форсунки, температури вхідного повітря 21°C, тиску 100 кПа і VE 100% (час відкриття інжектора, необхідного для отримання стехіометричної суміші $\lambda = 1$);

$VE(map, rpm)$ – значення об'ємного ККД (береться з карти VE);

MAP (manifold absolute pressure) – тиск у впускному колекторі;

$Air\ Density$ – процентна різниця щільності повітря по відношенню до щільності повітря при 21°C;

$Corrections$ – корекція дози палива (формула 4.3);

$AccEnrich$ (acceleration enrichment) – збільшення прискорення;

$InjOpeningTime$ – період часу з моменту подачі напруги на котушку інжектора до подачі палива (значення зчитується з карти калібрування форсунок).

Корекції дози палива визначаються за формулою (маркування також сумісний із пристроєм ECUMaster EMU Black):

$$Corrections = Baro \times Warmup \times ASE \times EGO \times KS \times NITROUS \times IAT \quad (4.3)$$

де $Corrections$ – відсоткове значення корекції дози палива;

$Baro$ (barometric correction) – барометрична поправка, яка використовується в алгоритмі Alpha-N;

$Warmup$ (warmup enrichment) – величина збагачення суміші як функція температури рідини охолодження (наводиться у відсотках);

ASE (afterstart enrichment) – величина збагачення, виміряна після запуску двигуна;

EGO (корекція кисневого датчика вихлопних газів) – корекція відповідно до показань датчика λ ;

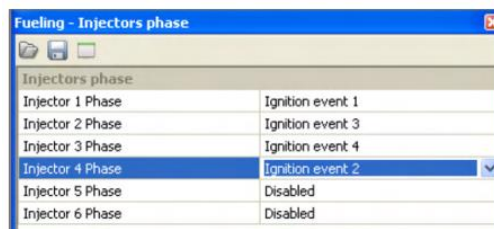
KS (корекція датчика детонації) – збагачення при появі стуку;

NITROUS – збагачення суміші при активації системи окису азоту;

IAT – корекція як функція температури у впускному колекторі.

Інший алгоритм – Alpha-N з запалюванням на основі MAP дозволяє розрахувати дозу палива майже ідентичний алгоритму Alpha-N, з тією різницею, що карта запалювання встановлюється у функції тиску у впускному колекторі, а не отвіру дросельної заслінки. У свою чергу, алгоритм Alpha-N з MAP multi і запалювання на основі MAP дозволяє розрахувати дозу палива майже однаково як у випадку з Alpha-N з алгоритмом множення MAP, але також за винятком цього, що карта запалювання визначається як функція тиску у впускному колекторі, а не отвору дроселя [10].

Таблиця фаз інжектора поєднує момент уприскування палива з точно визначеним подіям займання (рис. 4.2). Впорскування палива починається в певній точці значення градусів (H) перед верхньою мертвою точкою циліндра (ВМТ - найвища точка ходу поршня у своєму циліндрі), якому було призначено дану подію запалювання. Кількість подій запалювання іскри в робочому циклі двигуна дорівнює кількості циліндрів. Кожна форсунка спрацьовує один раз протягом одного циклу двигуна (720°).

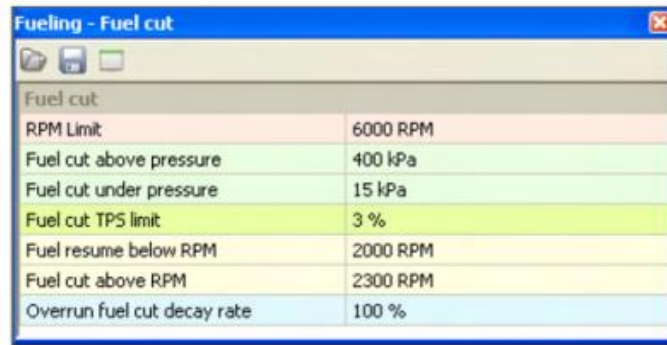


Injectors phase	Ignition event
Injector 1 Phase	Ignition event 1
Injector 2 Phase	Ignition event 3
Injector 3 Phase	Ignition event 4
Injector 4 Phase	Ignition event 2
Injector 5 Phase	Disabled
Injector 6 Phase	Disabled

Рисунок 4.2 – Пристрій ECUMaster EMU Black – вікно програми з таблицею фаз інжектора

Подібним чином таблиця налаштування Injectros дозволяє коригувати дозу палива для окремих форсунок форсунки. Використовується, коли необхідна точна настройка дози палива для окремих циліндрів.

Пристрій ECUMaster EMU Black також дозволяє контролювати параметри відсікання палива відповідає за припинення подачі палива, наприклад, якщо встановлені обороти перевищено двигуна (параметр обмеження обертів на хвилину) або занадто високий (параметр зниження тиску палива вище) або занадто низький тиск у впускному колекторі (параметр Fuel cut under pressure) (рис. 4.3).



Fuel cut	
RPM Limit	6000 RPM
Fuel cut above pressure	400 kPa
Fuel cut under pressure	15 kPa
Fuel cut TPS limit	3 %
Fuel resume below RPM	2000 RPM
Fuel cut above RPM	2300 RPM
Overrun fuel cut decay rate	100 %

Рисунок 4.3 – Пристрій ECUMaster EMU Black: вікно програми з таблицею керування палива

Також пристрій має функцію зворотного зв'язку EGO для налаштування роботи алгоритм корекції дози палива за показаннями λ -зонда (рис. 4.4). Для вузькосмугового зонда, можливо лише підтримувати цільове значення NBO ref (еталонне значення напруги пробника), у свою чергу для широкосмугового пробника – обидва значення коефіцієнт λ (в приладі позначений як AFR – Air to Fuel Ratio) для заданих значень обертів і навантаження на двигун визначені в таблиці AFR. Таблиця містить серед інших опцію включення функції корекції дози палива (Enable EGO feedback), відсоток значення найбільшого збагачення (Rich limit) і збіднення дози палива (Lean limit), найкоротший час з моменту запуску двигуна, після чого може відбутися корекція дози палива (час прогріву), значення, зчитане з датчика положення дросельної заслінки, нижче якого воно може відбувається корекція дози палива (TPS limit), мінімального значення тиску

в колекторі впуск (мін. MAP), температура охолоджуючої рідини (мін. CLT) і оберти (мін. об/хв) вище що дозволяє коригувати дозу палива або значення максимального тиску у впускному колекторі (max MAP) і значення швидкості (max RPM), вище якого корекція дози палива вимкнена.

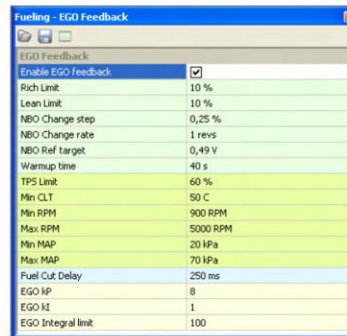


Рисунок 4.4 – Пристрій ECUMaster EMU Black: вікно програми з таблицею EGO Feedback

ECUMaster EMU Black також оснащений картою корекції дози палива у функції температура вихлопних газів (корекція EGT), яка може бути використана як захист проти надмірно високої температури горіння суміші шляхом збагачення дози бензину. Пристрій також має згадану раніше карту форсунок, завдяки якій можна відкалібрувати час відкриття інжектора як функцію напруги в установці (рис. 4.5а). Чим нижче напруга, тим довше проходить час подавати напругу на інжектор, доки він не впорсне дозу палива. Довжина інтервалу часу залежить як від типу форсунок, так і від тиску палива (тобто чим вищий тиск - тим довше час відкриття голки). Можливість - велика зручність скористатися майстром форсунок, призначеним для популярних типів форсунок (рис. 4.5б).

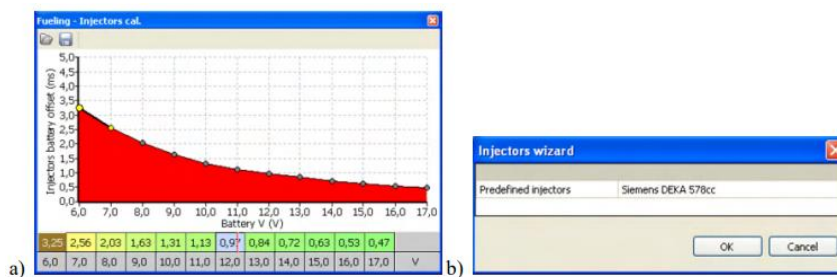


Рисунок 4.5 – Пристрій ECUMaster EMU Black: а) вікно програми з картою форсунок, б) майстер форсунок

Карта барометричної корекції, доступна в пристрої, описує наскільки зміниться доза палива (у відсотках) в залежності від значення барометричного тиску (використовується в алгоритмі Alpha-N) (рис. 4.6). ECU Master EMU Black також має карту корекції дози палива в залежності від температури у впускному колекторі (корекція IAT), яка може бути використана для додаткової корекції дози палива на розрахункову густину повітря. Це дозволяє, наприклад, більше збагачувати, коли всмоктуване повітря має високу температуру. Алгоритм розрахунку дози бензину наступний: враховується температура всмоктуваного повітря, а карта IAT є додатковою картою, яка модифікує поправки, що є результатом фізичної моделі [10].

4.2. Контроль параметрів запалювання

З точки зору правильної роботи двигуна параметри запалювання оптимізувати надзвичайно важливо. Для цього налаштовують базовий датчик, що контролює роботу системи запалювання і основний момент запалювання, (рис. 4.6). Після кожної модифікації необхідно перевіряти їх вплив на кут обгону запалювання за допомогою стробоскопа, оскільки правильна конфігурація запалювання має прямий вплив на безпеку та правильну роботу двигуна [10].

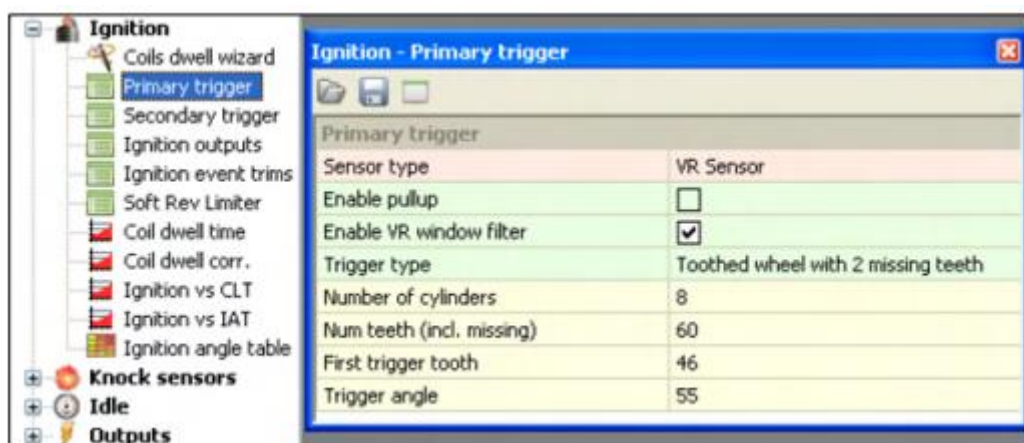


Рисунок 4.6. – Пристрій ECU Master EMU Black: вікно програми з майстром первинного запуску

Оптимізацію слід починати з визначення номера зуба на зубчастому вінці (перший зуб), що визначатиме перше запалення. На рисунку 4.6 представлено приклад конфігурації запалювання чотирициліндрового двигуна, де тригер-зуб визначали як 9 зуб, розташований на 60° попереду від ВМТ (верхня мертва точка). першого циліндра - зуб № 19. Наступна подія запалювання відбудеться на зубі 39, тому що в чотирициліндровому двигуні кожне наступне запалювання відбувається через кожні 180° .



Рисунок 4.6 – Приклад конфігурації запалювання для чотирициліндрового двигуна

Вибір правильного краю має вирішальне значення для правильного декодування сигналу від датчика вінця шестерні вала. Базовим інструментом оцінювання правильності вхідного сигналу забезпечується вбудованим в прилад ECUMaster EMU осцилографом. Для зубчастих вінців з відсутніми зубами буде вибрано вплив на нахил зуба декодованого сигналу в області відсутнього зуба або зубів. При неправильно підібраному нахилі щілина, що утворюється через відсутність зубів, значно менше, ніж очікується алгоритмом декодера (рис. 4.7).

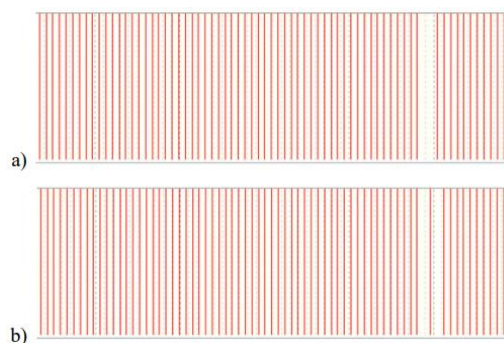


Рисунок 4.7. – Приклад а) правильна, б) неправильна форма сигналу для зубчастого вінця з відсутнім зубом або зубами

Зазвичай для зубчастих вінців розподільних валів, які використовуються в системах у змінних фазах газорозподілу, неправильний вибір нахилу унеможливає його правильний вибір. Приклад на рис. 4.7b показує, що відстань між послідовними зубами кільця вала рівні, що не дозволяє чітко визначити конкретні фази робочого циклу двигуна. Після виконання зміни фронту сигналу він стає нерівномірний, що дозволяє використовувати відповідний дешифратор сигналу (рис. 4.8a) – у цьому випадку це N+1. Якщо сигнал від датчика багатозубого кільця (зубчасте кільце з рівними проміжками між зубами) підключається до входу первинного тригера, і синхронізація відбувається за допомогою сигналу від датчика розподільного валу, то фронти сигналу слід підбирати таким чином, щоб відстань країв сигналу розподільного валу відносно фронтів первинного тригерного сигналу була якомога більшою (рис. 4.9). Це може статися, якщо зазор занадто малий і зі збільшенням обертів визначальний зуб (подія запалювання 1) буде змінюватися. Параметри, доступні у вторинному тригері (рис. 4.10), дозволяють синхронізувати запалювання за допомогою вибраного циліндра, завдяки чому можна працювати в повній послідовності запалювання і впорскування палива. У цьому випадку пристрій ECUMaster EMU Black підтримує датчики Холла та магнітоіндукційні датчики. Обраний фронт сигналу передає інформацію на пристрій, що для симетричних зубчастих кілець зуб № 0 буде іншим зубом переривання. У свою чергу, у зубчастих вінців з додатковим або відсутнім зубом вона забезпечує інформацію про те, що наступний зуб після відсутнього почне перший оберт циклу двигуна.

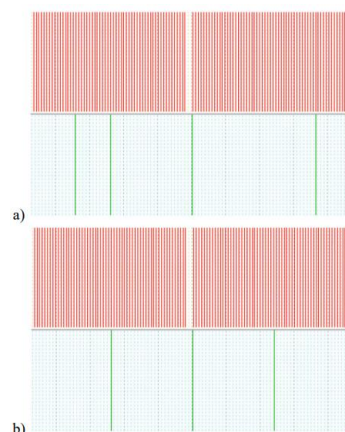


Рисунок 4.8. Приклад а) правильна, б) неправильна форма сигналу для кільця розподільного вала

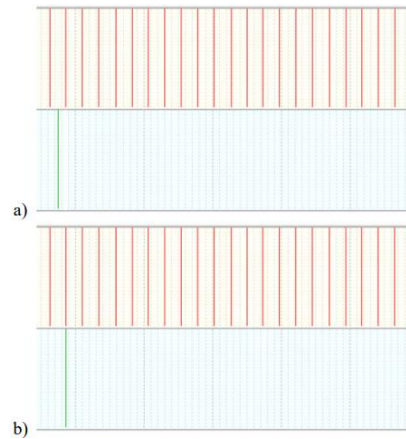


Рисунок 4.9 – Приклад а) правильна, б) неправильна форма сигналу від кільця розподільного вала

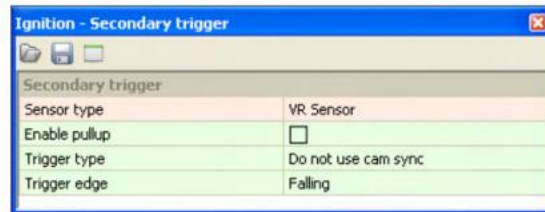


Рисунок 4.10 – Пристрій ECUMaster EMU Black: вікно програми з майстром вторинного запуску

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Безпека праці під час діагностування і ремонту автомобілів

Технічне обслуговування й ремонт автомобілів виконують у призначених для цього місцях (на постах). На робочих місцях мають забезпечуватися безпечні умови для проведення робіт; обладнання, інструмент та прилади мають відповідати характеру виконуваної роботи й унеможливити травматизм. Під час роботи наявні небезпечні і шкідливі чинники: термічні фактори (опіки гарячою рідиною, концентрованими лужними розчинами, полум'ям); підвищена відносна вологість повітря, недостатня освітленість, уламки металу, що відлітають при випресовуванні та запресовуванні пальців, підшипників, валів, осей, при рубанні металу; умови для ураження електричним струмом, падіння працівників, падіння деталей, вузлів і агрегатів; наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин (акролеїну, вуглецю оксиду, вуглеводнів аліфатичних граничних тощо).

У разі примусового переміщення автомобілів з поста на пост потокової лінії передбачають світлову або звукову сигналізацію. Після сигналу про початок пересування робітники повинні покинути робочі місця, вийти з оглядової ями.

Електричне обладнання діагностичного стенда з біговими барабанами (пульт керування, апаратні шафи, блоки барабанів тощо) має бути надійно заземлене.

Наприкінці зміни слід вимкнути рубильник стенда, закрити крани паливних баків, перекрити вентиль подачі стисненого повітря.

Під час роботи під перекинутою кабіною автомобіля положення обмежувача треба зафіксувати заціпкою, в разі опускання кабіни — надійно закрити запірний механізм і правильно встановити запобіжний крюк у пазу опорної балки.

Пуск двигуна треба здійснювати стартером, як виняток - пусковою рукояткою. Аби уникнути травмування кисті, рукоятку слід брати так, щоб всі

пальці правої руки розташовувалися по один бік ручки. Повертати колінчастий вал треба тільки знизу вгору, довкола - забороняється.

Регулювальні роботи з двигуном, що працює, слід виконувати на спеціальному посту з місцевою вентиляцією для видалення відпрацьованих газів. Забороняється підтягувати деталі газобалонного обладнання автомобілям виконувати інший ремонт, якщо у вузлах і трубопроводах є газ під тиском.

У приміщеннях для ТО й ремонту автомобілів забороняється залишати порожню тару з паливом та мастильними матеріалами. Розлите паливо або оливу слід негайно прибрати, використовуючи пісок чи тирсу. Після завершення роботи всі використані ганчірки слід скласти у спеціальну тару.

Технічне обслуговування й ремонт приладів системи живлення, знятих з автомобіля, виконують у цеху (на ділянці). Біля ванни для миття деталей системи живлення, біля верстаків для розбирання-складання, перевірки й регулювання приладів, а також біля токарного верстата мають бути вентиляційні відсмоктування.

Роботи, пов'язані із зачищенням деталей перед паянням та лудінням, виконують на робочих місцях, обладнаних місцевою вентиляцією. Паливні баки й тару з-під пальних сумішей перед ремонтом треба промити гарячою водою, пропарити гострою парою, промити каустичною содою та просушити гарячим повітрям. Перед паянням і заварюванням слід відкрити пробки.

Займання треба гасити за допомогою вогнегасників, піском або струменем розпиленої води. Балони з газом слід поливати холодною водою, щоб запобігти підвищенню тиску в них.

Роботи з акумуляторними батареями треба виконувати в ізольованих приміщеннях із дотриманням вимог безпеки, викладених нижче. Усі особи, які причетні до роботи з акумуляторними батареями, повинні пройти спеціальний інструктаж з техніки безпеки.

У разі потрапляння електроліту або кислоти на шкіру необхідно негайно змити їх водою, 10 %-м розчином соди чи нашатирного спирту.

Закінчивши роботу з акумуляторами, перед уживанням їжі треба прополоскати рот і старанно вимити руки гарячою водою з милом. Заходити в їдальню в спецодязі забороняється.

На робочих місцях мають бути аптечки з йодом, ватою, марлею та 10%-м розчинами соди й нашатирного спирту. Питну воду слід зберігати у шафі в закритій місткості. При акумуляторному цеху мають бути обладнані роздягальня та вмивальня з шафами для зберігання домашнього одягу й окремо — спецодягу.

Зварювальні, кузовні, фарбувальні роботи слід виконувати в окремих ізольованих приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією.

Демонтаж і монтаж шин автомобілів слід здійснювати на спеціально відведених місцях (постах). Перед демонтажем шини потрібно випустити повітря з камери. Під час накачування необхідно стежити за показами манометра, не допускаючи підвищення тиску повітря в шині понад установлену норму.

Миття автомобілів, агрегатів і деталей здійснюють на мийній дільниці, підлога якої має вологостійке покриття та уклон для стікання рідини. Дільницю обладнують припливно-витяжною вентиляцією, а мийні ванни - витяжними зонтами. Перед приготуванням і використанням мийних розчинів слід надягти гумові фартух, чоботи, рукавички, а також захисні окуляри.

5.2. Заходи електробезпеки у відділенні діагностики

Згідно вимог правил встановлення електрообладнання виробничі приміщення класифікуються по ступеню безпеки ураження людини електричним струмом.

Проектована дільниця відноситься до особливо небезпечних приміщень, так як вона характеризується за наступними ознаками:

- струмопровідна підлога – залізобетонна;
- в приміщенні виділяється струмопровідний пил;
- застосовуються змащувально-охолоджувальні суміші;
- не виключене одночасне дотикання до корпусів обладнання, що може бути під напругою і до заземлених частин будівлі;

- згідно рекомендацій [27-28] на ділянках застосовують трифазну, чотирипровідну електричну мережу з заземленою нейтраллю.
- напруга в мережі 220/380 В.

Мережа з заземленою нейтраллю застосовується там, де неможливо забезпечити добру ізоляцію проводів при тривалому ремонті пошкодженої ізоляції проводів.

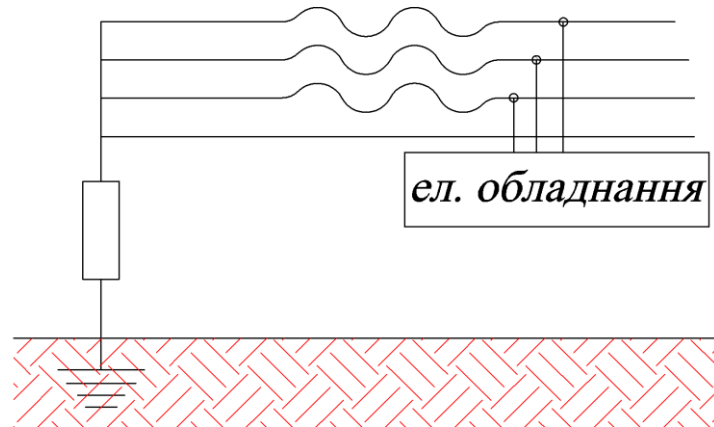


Рисунок 5.1 – Схема трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю

Основними причинами нещасних випадків від дії електричного струму є:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- поява напруги на металічних конструктивних частинах електрообладнання – корпусах, кожухах і т.п. – в результаті пошкодження ізоляції та інших причин;
- поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання проводу на землю [27-28].

Необхідність застосування занулення пояснюється областю застосування – трифазні, чотирипровідні мережі з напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю.

Зазвичай це мережі з напругою 220/380 В, що широко використовуються в машинобудуванні та інших галузях народного господарства [27-28].

Призначення нульового захисного щитка – створення для струму короткого замикання мережі з малим опором, щоб цей опір був достатнім для швидкого відключення пошкодженої установки.

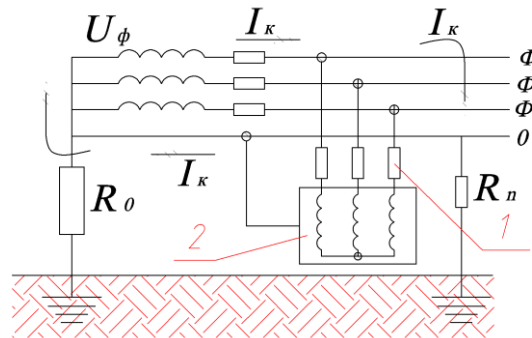


Рисунок 5.2 – Принципова схема занулення:

1 – корпус; 2 – апарати для захисту від струму короткого замикання (плавкі запобіжники та ін.); R_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму; R_i – опір повторного заземлення нульового провідника; I_k – струм короткого замикання.

На виробничій дільниці передбачені наступні заходи по забезпеченню електробезпеки:

- кожен верстат має вимикач ручної дії, що розміщений в безпечному місці;
- двері шаф з електрообладнанням блоковані вимикачем таким чином, щоб двері шафи не відкривались при його ввімкненому положенні і електрообладнання не можна було вимкнути при його відкритих дверях, передбачена можливість відключення блокування для перегляду і перевірки апаратури;
- для живлення світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання застосовують напругу не більше 24 В;
- для світильників місцевого освітлення передбачені окремі вимикачі.

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

На сьогодні природно-техногенна безпеки для населення і території зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невідомо зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Згідно із Кодексом цивільного захисту України за організацію цивільної оборони на підприємстві відповідає керівництво. Керівництво підприємств повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створювати загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У системі цивільного захисту підприємства необхідно забезпечити:

- інформування та організація захисту;
- можливість укриття населення у захисних спорудах;
- використання засобів індивідуального і медичного захисту;
- будівництво захисних споруд, насадження лісосмуг.

Основні положення Женевської конвенції щодо захисту жертв війни та додаткових протоколів до неї, можливого характеру воєнних дій, реальних можливостей держави щодо створення матеріальної бази захисту. З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій потрібно проводити спеціальні комплекси заходів.

Інформування населення, яке досягається завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної, територіальних та об'єктових систем оповіщення населення.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Інженерний захист проводять з метою виконання вимог щодо розміщення потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), інженерних споруд та інше.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Ефективність застосування того чи іншого автомобіля визначається за мінімумом приведених питомих витрат. Вважається кращим той варіант по якому приведенні питомі витрати менші. Питомі приведенні витрати визначають за формулою:

$$P_{пр.вит} = S_{од.роб.} + E_n \cdot K_{пит} \quad (6.1)$$

де $S_{од.роб.}$ – собівартість одиниці роботи (1 км.)

E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_n = 0,12$).

$K_{пит}$ - питомі капіталовкладення у варіанти експлуатації, грн./од. роб.

Економічний ефект визначається за кожним видом автотранспортної продукції (1ткм.або км пробігу) за формулою:

$$E = (P_{пр.вит1} - P_{пр.вит2}) \cdot W_{річ} \quad (6.2)$$

Для прототипного автомобіля

$$K^1_{пит км} = 6,692 \text{ грн/км}$$

$$P_{пр} = 4,171 + 0,12 \cdot 6,692 = 4,974$$

Для автомобіля, двигун якого налаштували з допомогою ECUMASTER:

$$K^2_{пит ткм} = 8,077 \text{ грн/ткм}$$

$$P_{пр} = 3,208 + 0,12 \cdot 8,077 = 4,1775$$

Розрахунок економічного ефекту для даних моделей двигуна

$$E = (4,974 - 4,1775) \cdot 23184 = 18471,51 \text{ грн}$$

Всі розрахунки основних показників відображаються в таблиці 6.2

Таблиця 6.1 – Основні техніко-економічні показники роботи атомобіля, з двигуном налаштованим з допомогою ECUMASTER

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Марка автомобіля	
			прототипний автомобіль	Автомобіль з налаштуваннями ECUMASTER
1	Річний об'єм перевезень		23184	
2	Капітальні вкладення:			
	а) загальні	Грн.	155150	187250
	б) питомі	Грн./км	6,692	8,077
3	Витрати праці:			
	а) загальні	люд-год	2217,565	2375,65
	б) питомі	люд-год/км	0,096	0,102

	в) виробіток г) річний економічний ефект за затратами праці д) зміна рівня продуктивності праці	км/люд-год людин %	10,45 0,0764 1	9,76 0,0764 1
4	Грошові витрати: а) загальні б) питомі	Грн. Грн./км	96703,57 4,17	74380,06 3,2
5	Порівняльна економічна ефективність: а) приведенні питомі витрати б) річний економічний ефект за грошовими витратами	Грн./км Грн.	4,974 18471,51	4,1774 18471,51

Враховуючи всі фактори використання порівнювальних автомобілів, а також підрахований економічний ефект від покращеної роботи двигуна, завдяки налаштуванням за допомогою пристрою ECUMASTER можна зробити висновок, що це впровадження принесе прибуток 18471,51 грн/рік (тобто за орієнтований пробіг – 23184км).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В роботі викладено будову та принцип дії двигунів з іскровим запалюванням. Також проаналізовано основні підсистеми керування двигунами SI, акцентуючи увагу на характеристиці підсистем контролю наповнення, сумішоутворення і займання палива.

2. На прикладі системи живлення Motronic розкрито можливості управління робочими процесами двигунів з іскровим запалюванням, наведено характеристики датчиків які використовуються в цій системі. Шляхом аналізу роботи контролерів двигунів з іскровим запалюванням було охарактеризовано та визначено пристрій, що використовується для оптимізації роботи двигуна та датчики, що використовуються під час дослідження.

3. Представлено принципи керування дозуванням палива, параметрами запалювання, параметрами пуску двигуна, збагачення суміші, холостого ходу, фаз газорозподілу. Детально розглянуто процес оптимізації роботи вибраного двигуна SI за допомогою пристрою ECUMaster EMU Black.

4. В роботі наведено заходи, щодо покращення умов праці під час технічного обслуговування, діагностики, ремонту автомобілів, охарактеризовано небезпеки такої діяльності, запропоновано заходи для підвищення електробезпеки. Ризик надзвичайних ситуацій природного, техногенного та військового характеру є досить значний, тому охарактеризовано питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій та наголошено на правилах дій за умов настання різних небезпек.

5. Економічний ефект від покращеної роботи двигуна, яка досягається завдяки налаштуванням за допомогою пристрою ECUMASTER, становить 18471,51 грн/рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баковський А., Радзієвський Л. Аналіз вибраних дескрипторів сигналів від двигуна внутрішнього згоряння за допомогою програми R. Монографія, Видавництво Кельцького технологічного університету. 2015.
2. Богуш П. Використання нелінійних методів аналізу сигналів у діагностиці двигунів внутрішнього згоряння. Випробування. 2006. №398. ISBN: 83-7143-235-6.
3. Богута А., Стила С. Використання графічного програмування при моделюванні роботи системи керування двигуном SI та CI. Технологія, експлуатація, транспортні системи. 2013. № 3. С. 947-955.
4. Хлопек З. Вступ до теми оптимізації керування поршневіми двигунами внутрішнього згоряння. Автомобільний транспорт. Т. 2. 2004. С. 69-83.
5. Хлопек З., Малик В. Моделювання двигуна з іскровим запалюванням як об'єкта керування. Журнал автомобільного інституту. 2005. 3/58. С. 69-75.
6. Дабровський З., Мадей Н. Маскування механічних пошкоджень за допомогою сучасних систем керування двигунами внутрішнього згоряння. Системи керування. 2006. № 13. С. 53-60.
7. Дубовський Л., Дирч К., Каваліло Р., Влостовський Р., Врубель Р. Концепція нового бортового комп'ютера ECU для керування двигуном автомобіля за допомогою DSP. Наукові праці Інституту електричних машин, приводів і вимірювань Вроцлавського університету науки і техніки. Дослідження і матеріали, 2011. № 31. С. 159- 168.
8. Дзюбінський М., Електронні системи автотранспортних засобів. Наукове видавництво. Люблін. 2003. 231 с.
9. Горинський М. Графічне програмування в управлінні інтелектуальними електроустановками. Ринок енергії, 2011. № 3(94). С. 109-115.
10. Ізерман Р. Моделювання та електронне керування двигунами внутрішнього згоряння. 2014:Springer-Verlag. С.12-126.
11. Кнеба З., Маковський С. Живлення та керування двигунами. Видавництво «Зв'язок і комунікація». 2004:

12. Колодій С., Генек Л., Мамала Я. Вплив контролю положення дросельної заслінки на викиди шкідливих речовин. Інженерне моделювання. 2018. № 68. С. 54-61.
13. Коморська І. Аналіз вібраційного сигналу двигуна з іскровим запалюванням в дорожніх умовах. Автомобіліст. 2009. № 3. С. 181-190.
14. Ларіч Я., Стельмашук З. Двопаливне живлення двигуна з іскровим запалюванням за допомогою змішувача спирту та бензину. Двигуни внутрішнього згоряння. 2013. № 3. С. 1011-1018.
15. Маковський Я. Викиди альдегідів від двигунів SI. Паливно-мастильні матеріали в експлуатації. 2001. № 91. С. 31-32.
16. Меркіч Я., Мазурок С. Бортові діагностичні системи для автомобілів. Видавництво «Зв'язок і комунікація». 2007. 126с.
17. Колективна праця. Розширена діагностика двигуна. 2019. Шпрінгель, Сінгапур.
18. Колективна робота. Технічна інформація Бош. Керування двигунами з іскровим запалюванням. Системи Motronic. Видавництво «Зв'язок і комунікація». 2019. 123 с.
19. Пашковський Д. Діагностика карбюраторного двигуна внутрішнього згоряння. Видавництво Варшавського технічного університету. Варшава. 2003. 231 с.
20. Петрас Д., Собещанський М. Проблеми регулювання двигуна з іскровим запалюванням із рециркуляцією відпрацьованих газів. Двигуни внутрішнього згоряння. 2004. № 2. С. 12-22.
21. Підняло А. Паливо, оливи та мастила. Науково-технічне видавництво. Варшава. 2002. 67 с.
22. Рокос У. Системи очищення вихлопних газів і бортові діагностичні системи
23. Романовський І. Датчики системи керування двигуном. Видавництво «Зв'язок і комунікація». 2013. 98 с.

24. Тутай Я. Контролер упорскування палива для двигунів внутрішнього згорання. Технічний журнал. Видавництво Краківського технічного університету. 2008. №7. С. 303-309.

25. Вендекер М., Годула А. Дослідження робочої мінливості контрольних параметрів двигунів з іскровим запалюванням. Експлуатація та надійність. 2002. № 4(16). С. 12-23.

26. Вербівський С. Вплив стандартизації зв'язку в системах керування двигуном внутрішнього згорання на безпеку використання автомобіля. Автоматизація вимірювань. 2014. № 5. С. 329-332.

27. Пістун І.П., Хомяк Й.В., Хомяк В.В. Охорона праці на автомобільному транспорті: *Навч. посібник*. 2-ге вид. Суми: Університетська книга, 2015. 375 с.

28. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1299-12#Text> (дата звернення: 22.10.2023).