

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Підвищення ефективності технологічного процесу
діагностики системи паливоподачі бензинового двигуна під час
його роботи на різних видах палива»

Виконав: студент групи Ат-53

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Дмитро КОЛЕСНИКОВИЧ

(ім'я та прізвище)

Керівник: Георгій ХУДАВЕРДЯН

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 656.075

Колеснікович Дмитро Адамович. «Підвищення ефективності технологічного процесу діагностики системи паливоподачі бензинового двигуна під час його роботи на різних видах палива». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 101 с.

Табл. 11; рис. 22; бібліогр. джерел 27.

На основі аналізу роботи ДВЗ та автомобільних систем встановлено, що генерується значна кількість шкідливих речовин. Ефективним заходом для зниження рівня викидів шкідливих речовин є використання альтернативних видів палива. Введення жорстких екологічних стандартів призвело до широкого використання виробниками автомобілів різноманітних систем нейтралізації відпрацьованих газів. Наведено основні характеристики сенсорів кисню - показники напруги залежно від співвідношення паливоповітряної суміші на різних видах палива. Проведено дослідження роботи сенсора кисню та корекції паливоподачі під час руху автомобіля.

Встановлено, що додаткове оснащення автомобіля комплектом газобалонного обладнання збільшує балансову вартість автомобіля на 24 000 грн. Крім цього, зростає витрата пального на 14,1%, тоді як основна економія відбувається за рахунок нижчої ціни палива на 25 грн. Встановлено, що за ідентичного пробігу автомобіля прямі затрати під час використання пропан-бутанової суміші зменшуються на 13,5 %, зведені затрати на 13,9%, річний економічний ефект становить 16720 грн. Термін окупності комплекту газобалонного обладнання становить 1,44 роки.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1.	
СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
1.1. Нормативні акти, що регулюють рівні викидів відпрацьованих газів.....	10
1.2. Альтернативні види палива для двигунів внутрішнього згоряння.....	20
1.3. Системи нейтралізації відпрацьованих газів.....	26
Висновки за розділом.....	32
РОЗДІЛ 2.	
РОЗРАХУНОК ЕНЕРГІЇ ЗГОРЯННЯ В ДВЗ.....	
2.1. Процеси утворення енергоносіїв в камері згоряння.....	34
2.2. Енергія стехіометричного співвідношення паливоповітряної суміші	38
Висновки за розділом.....	39
РОЗДІЛ 3.	
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМАНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
3.1. Системи контролю стехіометрії паливно-повітряної суміші.....	40
3.2. Методика розрахунку утворення шкідливих сполук відносно неспаленого кисню.....	44
3.3. Моніторинг викидів відпрацьованих газів під час руху автомобіля.....	46
Висновки за розділом.....	48
РОЗДІЛ 4.	
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
4.1. Результати дослідження сенсора кисню на різних видах палива.....	49
Висновки за розділом.....	56
РОЗДІЛ 5.	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
5.1. Організація заходів охорони праці.....	58
5.2. Техніка безпеки при виконанні ремонтних робіт.....	63
5.3. Розрахунок системи освітлення.....	66
5.4. Розрахунок вентиляції.....	68
РОЗДІЛ 6	

	РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	71
6.1.	Порівняльна оцінка використання альтернативних видів палива для бензинових двигунів.....	71
	Висновки за розділом.....	77
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	78
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

За останні 100 років рідке викопне паливо стало основним видом для транспорту через високу щільність енергії та легкість транспортування, зберігання та переміщення. Традиційне паливо складна суміш, яка зазвичай містить більше сотні хімічних компонентів, склад яких змінюється і розвивається з часом і паралельно з розвитком двигунів. Це було зроблено для того, щоб задовольнити вимоги розробки двигунів за потужністю, ефективністю і керованістю.

Протягом останніх десятиліть законодавство щодо викидів стає дедалі суворішим й з'являються додаткові вимоги до складу палива та роботи двигуна. Властивості палива на основі викопного палива для двигунів і виробництва електроенергії є важливими критеріями з точки зору горіння, оскільки поведінка горіння пов'язана з основним призначення теплової машини, тобто перетворенням хімічної енергії в механічну. Однак, паливо в двигуні внутрішнього згорання зазнає інших процесів і проходить багато систем перед згоранням, які також слід враховувати [1], [5], [6], [13].

Паливо заповнюється та зберігається в баку певної конструкції. Паливо буде взаємодіяти з матеріалами та домішками, які накопичуються в баку і паливній системі. Паливо також буде піддаватися впливу різних умов навколишнього середовища, наприклад температури, вологості і впливи кисню. Таким прикладом є тиск насиченої пари, пов'язаний з високими і низькими температурами, помутніння та відкладення в залежності від низькотемпературної розчинності та стійкості до окислення залежно від вмісту кисню.

Зі сховища паливо закачується в паливну систему за допомогою помпи, також включаючи різну кількість ступенів фільтрації. Фільтри встановлені в лінію, щоб запобігти потраплянню навіть дуже дрібних частинок в форсунки, але тоді фільтри дуже чутливі до засмічення внаслідок утворення відкладень або фазового поділу компонентів. Нарешті, паливо надходить у форсунки, де

енергія розпилювання забезпечується певним рівнем тиску, для необхідної швидкості впорскування і утворення емульсії. Сучасні інжекторні системи також містять невеликі лінії і форсунки, а також насоси високого тиску й рухомі частини, які дуже чутливі до засмічення та пошкодження матеріалів. У результаті були створені глобальні стандарти щодо складу та властивостей палива та підтримуються мережами реалізації [6], [13].

Оскільки основним джерелом енергії при спалюванні вуглеводневого палива є вуглець, вуглецеві сполуки і вуглець-водневі зв'язки, тому різноманітні варіанти близьких вуглеводневих палив є теоретично можливими для використання.

Таким прикладом може бути використання газу в якості палива. Екологічність іміджу газових двигунів пов'язана головним чином більш високим співвідношенням водню до вуглецю в основному паливі, наприклад, метан (CH_4), що призводить до зниження викидів CO_2 , порівняно зі спалюванням дизеля, які утворюють більші частинки сажі, що також призводить до зменшення викиди сажі. Що стосується викидів сажі газовими двигунами, то до цього стверджувалось, що газовий двигун не містить твердих часток у викидах [3]. Це змінилось з новими методами вимірювання та більш суворими правилами нормування викидів EURO VI, дозволені рівні викидів газових двигунів HD та більш суворі обмеження для спалювання моторної оливи [2]. Сучасні технології, що застосовуються у дизельних двигунах та системи доочистки відпрацьованих газів разом з високим крутним моментом, робить його першочерговим вибором для комерційного транспорту та далеких перевезень. Обмеження дальності для дальніх перевезень, пов'язане зі зберіганням газу, який підтримується під тиском, для цього потрібна конструктивно міцні, а отже важкі, резервуари, які можуть витримувати високий тиск, під яким його зберігають [5].

LPG та CNG мають вищу енергоємність (48,7 МДж/кг) порівняно з дизелем (42,8 МДж/кг) та бензиновим (42,7 МДж/кг) паливом.

Ще один фактор, який негативно впливає на популярність газових двигунів надає відсутність необхідної кількості станцій, які б могли покрити попит наявної кількості комерційних транспортних засобів на дорозі. Іншим недоліком двигунів на стисненому природному газі є відповідність правилам EURO VI. Ці нормативні акти змусили перевести роботу двигунів на більш багату стехіометрію згоряння, у порівнянні зі згорянням на бідному спалюванні EURO V. У даному випадку викиди можуть бути зменшені за допомогою трикомпонентного каталізатора, тоді як надлишок повітря при спалюванні бідного горіння призводить до занадто високих викидів NO_x . Це скоротило розрив у перевагах між CNG і дизельним двигуном з точки зору викидів та паливної ефективності [14], [24].

Технологічні платформи та обладнання для визначення газу дозволили покращити найважливіші промислові процеси та зменшити викиди шкідливих для навколишнього середовища. Галузі промисловості та транспорт здатні у великій кількості генерувати такі гази, як етилен, сірка, вуглекислий газ (CO_2) і кисень (O_2), чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO_2), діоксид сірки (SO_2), діоксид азоту (NO_2), летючі органічні сполуки - етанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), ацетон (CH_3COCH_3), толуол (C_7H_8) і ацетилен (C_2H_2). Викиди цих екологічно токсичних газів, летючих органічних сполук та оксидів азоту (NO_x), що спричиняють появу кислотних дощів планують зменшувати за рахунок використання газових датчиків і каталітичних нейтралізаторів.

Технології визначення газу базуються на двох провідних комерційних платформах [14]:

- електронні (лямбда-зонди);
- оптичні (недисперсійні інфрачервоні (NDIR) датчики і оптроди).

Лямбда-зонди виготовлені з електролітами або газочутливими плівками, які використовувати іонну провідність електролітів або адсорбцію газів і зв'язування гідроксильних груп на оксиді металу. Найсучасніші автомобільні лямбда-зонди, також відомі як автомобільні датчики кисню, використовують твердий електроліт із стабілізованим оксидом цирконію у

ширококутних виконаннях датчиків. Лямбда-зонди також створені на основі чутливого до газу оксиду

Високі температури активації є типовими для обох електролітичних систем і датчиків газу. Для таких високих температур потрібні електронні нагрівальні елементи. Зниження температури активації лямбда датчика можна досягти за допомогою спеціальних матеріалів і каталітичного металу, такі як металоорганічні каркаси [7], [24].

Метою роботи є розробка ефективної методики оцінки параметрів сенсорів кисню та системи нейтралізації відпрацьованих газів під час роботи на різних видах палива.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити структуру відпрацьованих газів, що генерують двигуни внутрішнього згорання

2. Вивчити стан законодавчої бази на нормативних актів, що регулюють норми викидів шкідливих речовин.

3. Вивчити перспективи використання альтернативних видів методів визначення рівня шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

4. Провести оцінку параметрів сенсорів кисню та системи нейтралізації відпрацьованих газів під час роботи на різних видах палива.

5. Здійснити вибіг автомобіля та отримати дані щодо економічної та екологічної ефективності використання різних видів палива.

Об'єктами досліджень є сенсори кисню та системи нейтралізації відпрацьованих газів, викиди шкідливих речовин, альтернативні види палива.

Наукова новизна дослідження: обґрунтовано альтернативну методику визначення рівня шкідливих речовин у відпрацьованих газах за показами роботи сенсора кисню.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Нормативні акти, що регулюють рівні викидів відпрацьованих газів

На європейському автомобільному ринку очікується чергова постанова щодо схвалення типу та регламентів контролю за автотранспортними засобами. Вона сприятиме переходу до екологічно чистих автомобілів та збереження доступних цін на приватні та комерційні транспортні засоби для громадян та підприємств. Відповідно до нового стандарту Євро 7 транспортні засоби повинні будуть довше відповідати новим стандартам, гарантуючи, що вони залишатимуться екологічно чистими протягом усього терміну служби [7], [14], [18].

Для легкових автомобілів і мікроавтобусів зберезуться поточні умови тестування Євро 6 і обмеження викидів вихлопних газів, однак кількість твердих частинок у вихлопних газах буде вимірюватися на рівні PM10 замість PM23, що включає поглинання більш дрібних частинок. Для автобусів і вантажних автомобілів узгоджений стандарт містить суворіші обмеження для викидів, відповідно обмеження NOx 200 мг/кВт-год (під час лабораторних випробувань) і в реальних умовах водіння та обмеження NOx 260 мг/кВт-год.

Окрім обмеження для викидів двигунами обмеження стосуватимуться зменшення викидів частинок із шин і гальм, рекомендується збільшити термін служби батареї. Угода також встановлює обмеження щодо викидів частинок гальмівних механізмів (PM10) для автомобілів і мікроавтобусів (3 мг/км для електричних транспортних засобів. Для гібридних електричних транспортних засобів і транспортних засобів на паливних елементах 7 мг/км, а також 11 мг/км для комерційного транспорту з ДВЗ). Обмеження стосуватимуться мінімальних вимог до довговічності батареї в електричних і

гібридних автомобілях (80% від початку терміну служби до п'яти років або 100 000 км і 72% до восьми років або 160 000 км) [2], [24].

Крім цього передбачається введення екологічних паспортів, який буде доступний для кожного транспортного засобу та міститиме інформацію про його екологічні показники на момент реєстрації (такі як ліміти викидів забруднюючих речовин, викиди CO₂, споживання палива та електроенергії, запас ходу на електриці, довговічність батареї). Користувачі транспортних засобів також матимуть доступ до актуальної інформації через бортові системи та інформаційні монітори автомобіля. А виробники автомобілів повинні будуть обмежити можливість втручання в системи контролю викидів за допомогою зміни програмного забезпечення.

Метою введення нових стандартів є забезпечення доступності громадянам нових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння та дати можливість автомобільній промисловості підготуватися до очікуваної загальної трансформації сектора. Регламент застосовуватиметься через 30 місяців після набрання ним чинності для легкових автомобілів і мікроавтобусів та через 48 місяців для автобусів, вантажних автомобілів, причепів (для транспортних засобів, виготовлених невеликими виробниками, він застосовуватиметься з 1 липня 2030 року).

Правила стосуються країн-членів Європейського та партнерів, з якими підписані угоди про співпрацю та регулюються відповідними директивами Союзу щодо викидів для нових легких транспортних засобів, включно з легковими автомобілями та легкими комерційними транспортними засобами (LCV).

Стандарт Євро 1 (директива 91/441/ЕЕС) стосується бензинових автомобілів та стосується обмеження викидів оксидів азоту (NO_x) та неpalючих вуглеводнів. Для дизельних автомобілів встановлено стандарти для NO_x та сажового фільтра. Тоді як директива 93/59/ЕЕС пропонує поправки для легкових автомобілів та легких вантажівок.

Стандарти Євро 2 (директива 94/12/ЕС або 96/69/ЕС) Введено строгіші норми NO_x та введення обмежень для оксидів вуглецю для бензинових автомобілів. Збільшено вимоги до NO_x та введено обмеження на частинки вуглецю та бензопірен для дизельних автомобілів.

Стандарти Євро 3/4 (директива 98/69/ЕС2000/2005) та подальші поправки, внесені положенням 2002/80/ЕС. Цей стандарт впроваджує обмеження для дизельних транспортних засобів на викиди часткових фільтратів та бензинових транспортних засобів на викиди оксидів азоту.

У 2007 році цю Директиву було скасовано та замінено на регламент 715/2007 (Євро 5/6). Деякі з важливих регуляторних кроків щодо впровадження стандарту викидів для легкових автомобілів

Стандарти Євро 5/6 (2009/2014): Постанова 715/2007 («політичне» законодавство) встановили ще більш жорсткі норми для викидів оксидів азоту для дизельних транспортних засобів та обмеження викидів часткових для бензинових транспортних засобів. Цей стандарт також включає в себе вимоги до викиді сажі в системі випуску, фільтрування твердих часток та інших забруднювачів.

Найсучасніший стандарт – Євро 6 є найстрогішим щодо шкідливих викидів. Він передбачає використання спеціальних систем очищення вихлопних газів, таких як селективна каталітична редукція (SCR) і фільтри частинок дизельного двигуна (DPF). Це дозволяє значно зменшити викиди NO_x і твердих частинок у повітря (табл. 1, табл. 2) [4], [5], [8].

Також впроваджено ряд регламентів та технічних процедур, наприклад:

- обмеження викидів твердих частинок РМ для автомобілів, що працюють на бензині і затвердження остаточного стандарту Євро 6 щодо використання стандартних протоколів OBD (регламент 459/2012);
- положення щодо використання водню, водню/природного газу (H_2NG), гібридних, частково електричних і еклектичних транспортних засобів (регламент 630/2012);

Таблиця 1.1 - Норми викидів ЄС для легкових автомобілів

Норми викидів ЄС для легкових автомобілів (Категорія М ₁)							
Етап	Дата	СО	НС	НС+NO _x	NO _x	PM	PN
		г/км					
Примусове запалювання (бензин)							
Євро 1	1992.07	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-	-
Євро 2	1996.01	2.2	-	0,5	-	-	-
Євро 3	2000.01	2.30	0,20	-	0,15	-	-
Євро 4	2005.01	1.0	0,10	-	0,08	-	-
Євро 5	2009.09 ^б	1.0	0,10 ^д	-	0,06	0,005 ^{е,ф}	-
Євро 6	2014.09	1.0	0,10 ^д	-	0,06	0,005 ^{е,ф}	6,0×10 ¹¹
Запалювання від стиснення (дизель)							
Євро 1	1992.07	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	0,14 (0,18)	-
Євро 2, IDI	1996.01	1.0	-	0,7	-	0,08	-
Євро 2, DI	1996.01 ^а	1.0	-	0,9	-	0,10	-
Євро 3	2000.01	0,64	-	0,56	0,50	0,05	-
Євро 4	2005.01	0,50	-	0,30	0,25	0,025	-
Євро 5а	2009.09 ^б	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ^ф	-
Євро 5b	2011.09 ^с	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ^ф	6,0 × 10 ¹¹
Євро 6	2014.09	0,50	-	0,17	0,08	0,005 ^ф	6,0 × 10 ¹¹

Таблиця 1.2 - Норми викидів ЄС для комерційних транспортних засобів

Норми ЄС щодо викидів легких комерційних транспортних засобів								
Категорія	етап	Дата	СО	НС	НС+NO _x	NO _x	PM	PN
			г/км					
Примусове запалювання (бензин)								
N 1, I клас ≤1305 кг	Євро 1	1994.10	2.72	-	0,97	-	-	-
	Євро 2	1997.01	2.2	-	0,50	-	-	-
	Євро 3	2000.01	2.3	0,20	-	0,15	-	-
	Євро 4	2005.01	1.0	0,10	-	0,08	-	-
	Євро 5	2009.09 ^б	1.0	0,10 ^г	-	0,06	0,005 ^{е,ф}	-
	Євро 6	2014.09	1.0	0,10 ^г	-	0,06	0,005 ^{е,ф}	6,0×10 ¹¹
N 1, II клас 1305- 1760 кг	Євро 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	-	-
	Євро 2	1998.01	4.0	-	0,65	-	-	-
	Євро 3	2001.01	4.17	0,25	-	0,18	-	-
	Євро 4	2006.01	1.81	0,13	-	0,10	-	-
	Євро 5	2010.09 ^с	1.81	0,13 год	-	0,075	0,005 ^{е,ф}	-
	Євро 6	2015.09	1.81	0,13 год	-	0,075	0,005 ^{е,ф}	6,0×10 ¹¹
N 1, III клас >1760 кг	Євро 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	-	-
	Євро 2	1998.01	5.0	-	0,80	-	-	-
	Євро 3	2001.01	5.22	0,29	-	0,21	-	-
	Євро 4	2006.01	2.27	0,16	-	0,11	-	-
	Євро 5	2010.09 ^с	2.27	0,16 і	-	0,082	0,005 ^{е,ф}	-
	Євро 6	2015.09	2.27	0,16 і	-	0,082	0,005 ^{е,ф}	6,0×10 ¹¹
N 2	Євро 5	2010.09 ^с	2.27	0,16 і	-	0,082	0,005 ^{е,ф}	-
	Євро 6	2015.09	2.27	0,16 і	-	0,082	0,005 ^{е,ф}	6,0×10 ¹¹

продовження таблиці 1.2

Запалювання від стиснення (дизель)								
N 1, I клас ≤1305 кг	Євро 1	1994.10	2.72	-	0,97	-	0,14	-
	Євро 2 IDI	1997.01	1.0	-	0,70	-	0,08	-
	Євро 2 DI	1997.01 а	1.0	-	0,90	-	0,10	-
	Євро 3	2000.01	0,64	-	0,56	0,50	0,05	-
	Євро 4	2005.01	0,50	-	0,30	0,25	0,025	-
	Євро 5а	2009.09 б	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ф	-
	Євро 5b	д. 09. 2011 р	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$
	Євро 6	2014.09	0,50	-	0,17	0,08	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$
N 1, II клас 1305-1760 кг	Євро 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	0,19	-
	Євро 2 IDI	1998.01	1.25	-	1.0	-	0,12	-
	Євро 2 DI	1998.01 а	1.25	-	1.30	-	0,14	-
	Євро 3	2001.01	0,80	-	0,72	0,65	0,07	-
	Євро 4	2006.01	0,63	-	0,39	0,33	0,04	-
	Євро 5а	2010.09 с	0,63	-	0,295	0,235	0,005 ф	-
	Євро 5b	д. 09. 2011 р	0,63	-	0,295	0,235	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$
	Євро 6	2015.09	0,63	-	0,195	0,105	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$
N 1, III клас >1760 кг	Євро 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	0,25	-
	Євро 2 IDI	1998.01	1.5	-	1.20	-	0,17	-
	Євро 2 DI	1998.01 а	1.5	-	1.60	-	0,20	-
	Євро 3	2001.01	0,95	-	0,86	0,78	0,10	-
	Євро 4	2006.01	0,74	-	0,46	0,39	0,06	-
	Євро 5а	2010.09 с	0,74	-	0,350	0,280	0,005 ф	-
	Євро 5b	д. 09. 2011 р	0,74	-	0,350	0,280	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$
	Євро 6	2015.09	0,74	-	0,215	0,125	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$
N 2	Євро 5а	2010.09 с	0,74	-	0,350	0,280	0,005 ф	-
	Євро 5b	д. 09. 2011 р	0,74	-	0,350	0,280	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$
	Євро 6	2015.09	0,74	-	0,215	0,125	0,005 ф	$6,0 \times 10^{11}$

Дизелі вантажних автомобілів мають суворіші стандарти СО, але допускаються вищі значення NO_x . Транспортні засоби з примусовим запалюванням звільнені від обмежень РМ Євро 5. Норми Євро 5/6 запроваджують стандарти масових викидів твердих частинок, такі ж, як і для

дизелів, для транспортних засобів із двигунами на внутрішньому запалюванні.

Для раннього впровадження стандартів експлуатації транспортних засобів, які відповідають майбутнім стандартам викидів під час водіння (RDE) визначається відповідним регламентом 2016/427, а також вимогами щодо впровадження нових випробувальних циклів (тестування WLTP/WLTC, регламент 2017/1347).

Цикли випробувань — це стандартизовані профілі даних швидкості та часу, які використовуються виробниками автомобілів, тестувальниками та дослідниками для тестування й перевірки споживання палива, викидів і довговічності транспортних засобів. Протягом багатьох років вони змінювалися, починаючи лише виключно для викидів і динамометричного випробування двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) аж до моделювання реальних їздових циклів для імітації реалістичного водіння [1], [2].

Правила ЄЕК ООН № 15 були введені в Європі в 1970 році для випробування автомобілів за відповідною процедурою імітації міського водіння. Даний цикл пізніше став частиною NEDC, який був представлений у 1980 році. На даний момент існувало законодавство щодо викидів транспортних засобів до 1970 року, яке стосувалася прийняття єдиних умов схвалення та взаємного визнання процедур, методик та обладнання випробування автотранспорту, але фактичного їздового циклу не було введено. Випробувальний тест відповідно до регламенту ЄЕК ООН № 15 складається з трьох окремих частин:

тип I - випробування викидів забруднюючих речовин для швидкостей до 50 км/ год ;

тип II - перевірка викидів окису вуглецю під час холостого ходу;

тип III - випробування та аналіз викидів картера двигуна

Даний регламент був спробою оцінити викиди під час міської їзди та пізніше був прийнятий як основа до нового європейського циклу (NEDC).

Регламент NEDC для легкових автомобілів був запроваджений у 1980 році й став обов'язковим для більшості країн Європи. Даний тест NEDC представляв лише міське водіння та включав чотири повторення існуючого циклу ECE-15 (випробування типу I ЄЕК ООН № 15) загальною тривалістю 780 с (рис. 1.1).

Незважаючи на те, що випробування типу I Регламенту ЄЕК ООН 15, яке використовувалося протягом 1970-х років, складалося із чотирьох послідовних повторень циклу ECE-15, однак воно не мало офіційної назви циклу NEDC до 1980 року.

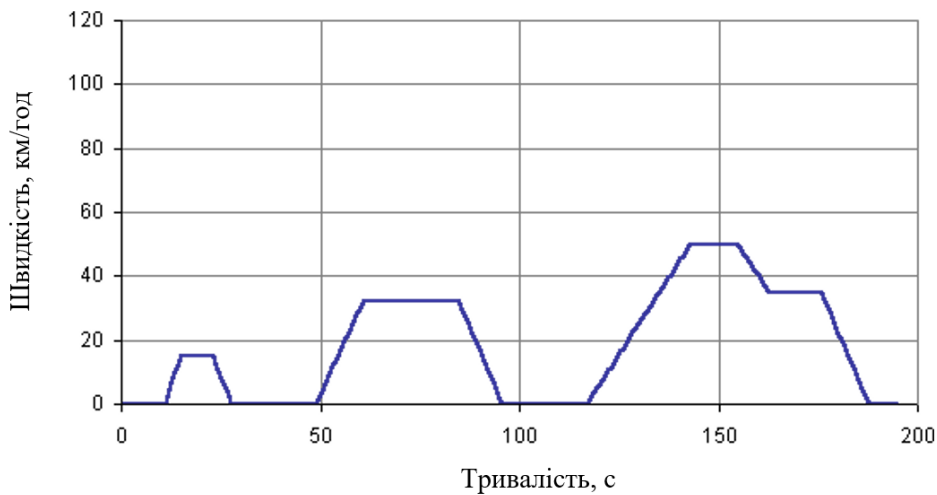
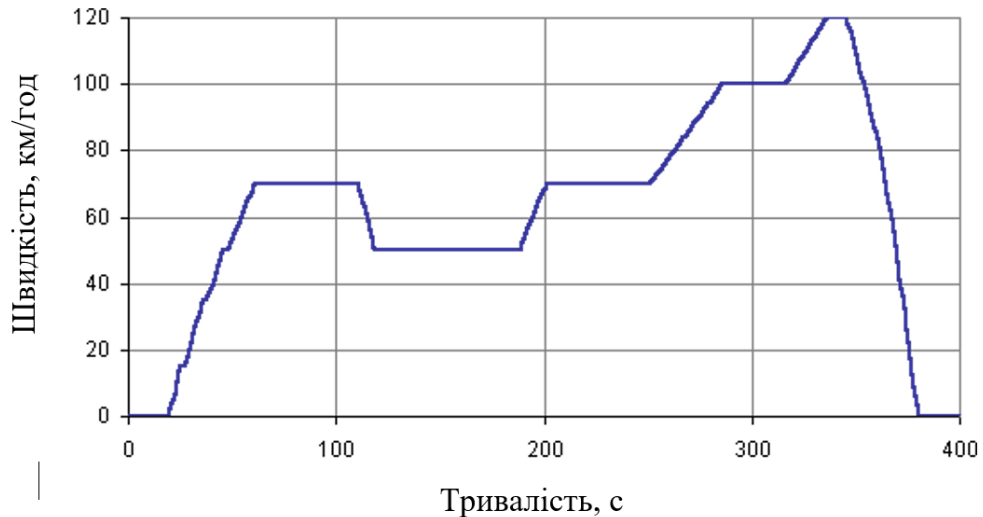


Рисунок 1.1 – Тестовий цикл ECE 15

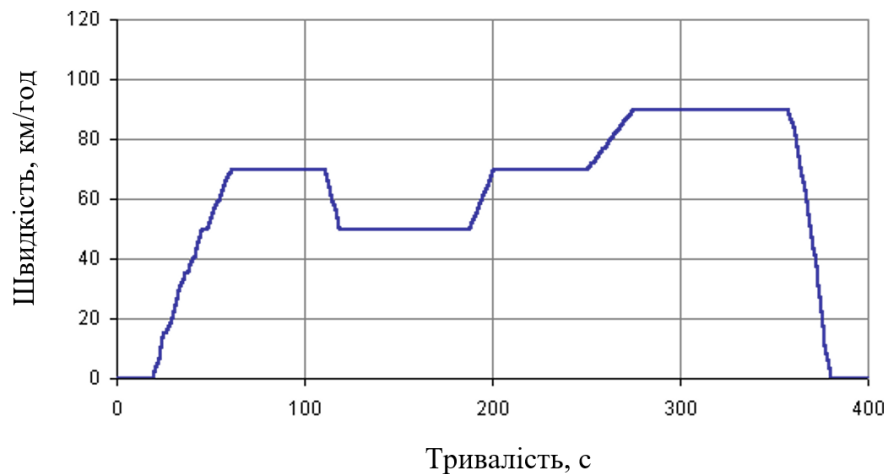
У 1992 році до NEDC було додано новий розділ, який отримав назву позаміський цикл випробувань (EUDC) для врахування позаміських швидкостей, наприклад під час руху по шосе. EUDC має середню та максимальну швидкість 62,59 км/год та 120 км/ год відповідно. З новим доповненням середня та максимальна швидкості NEDC стали 33 км/год та 120 км/ год відповідно. Після змін EUDC NEDC залишився незмінним і залишився основним європейським законодавчим циклом. Остаточна модель тестів NEDC EUDC показана на рисунку 1.2 [5].

Як і більшість випробувальних циклів NEDC був неспроможним відобразити реальну поведінку водіння. Цикл руху має велику кількість ходів

із постійною швидкістю та тривалістю холостого ходу, а це ускладнює оцінку деяких параметрів автомобіля, таких як економія палива та запас ходу.



а)



б)

Рисунок 1.2 – Тестові цикли за регламентом 1992 року:

а - замський цикл водіння EUDC; б - цикл NEDC

Після серії незалежних тестів та розбіжностей отриманих даних випробувань тест NEDC замінили на перехідний цикл WLTP, який є світовим загальноузгодженим перехідним тестом.

WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) станом на сьогодні є глобальним стандартом, розробленим для визначення викидів та

споживання пального. Стандарт включає різноманітні умови їзди, такі як швидкість, прискорення та зупинки, а також враховує вплив аеродинаміки, опору шин та інших факторів. WLTP враховує більш реальні умови експлуатації, зокрема враховуючи швидкість на автостраді, у міському русі, та на місцевих дорогах. Цикли випробувань враховують більше різноманітних умов, таких як холод та тепло, що дозволяє отримати більш точні результати водіння (рис. 1.3).

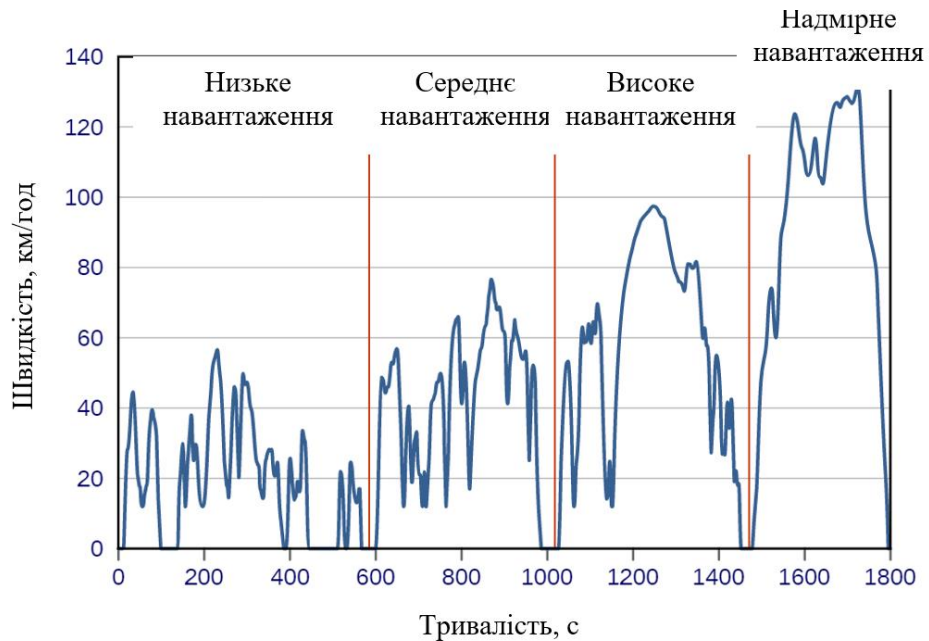


Рисунок 1.3 – Тест WLTP

Процедура передбачає випробування для трьох різних класів транспортних засобів, причому кожен із різним співвідношенням потужності до ваги. З вересня 2017 року електричні та гібридні автомобілі в Європі повинні відповідати вимогам WLTP щодо швидкості, крім того, тестування викидів LDV також виконується в рамках цього циклу.

До класу 1 відносяться всі транспортні засоби питомою потужністю 22 кВт/тонну. Даний клас транспортних засобів широко розповсюджений в країнах Східної Азії, Індії, де багато транспортних засобів мають низькі питомі значення потужності. Тривалість випробування становить 1022 с, а

відповідні середня і максимальна швидкість становлять 28,5 км км/год і 64,4 км/год (рис. 1.4).

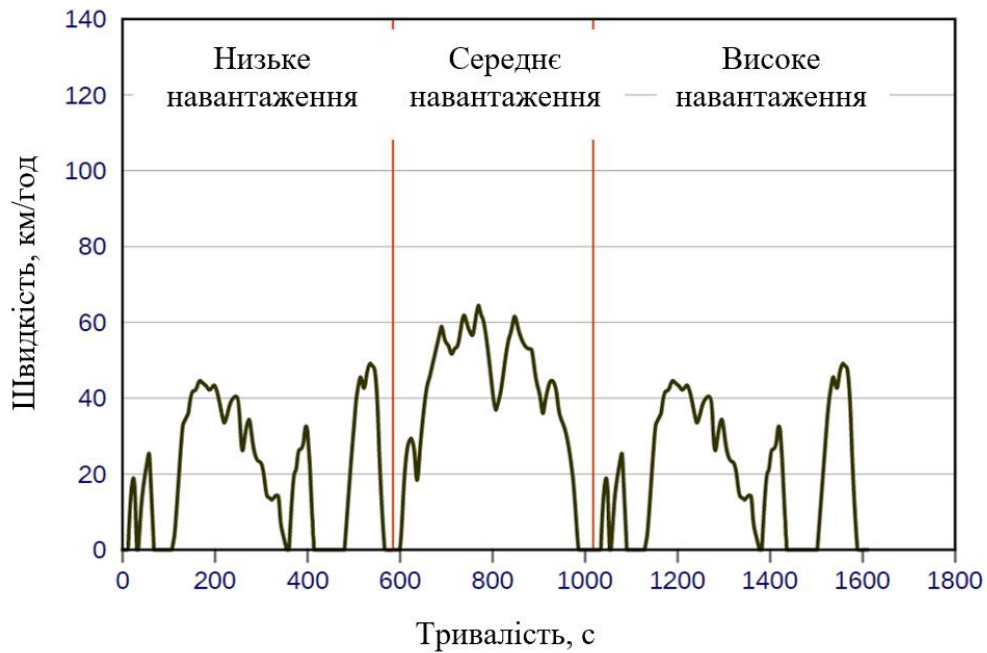


Рисунок 1.4 –Тест WLTP для транспортних засобів I класу

Клас 2 відноситься до всіх транспортних засобів з більше 22 і менше 34 кВт/тонну. Він широко представлений в Індії, Японії та європейських країнах. Цей клас випробовується 1477 с, з середньою швидкістю 35,7 км/год і максимальною швидкістю, 123,1 км/год відповідно.

До класу 3 відносяться транспортні засоби з питомою потужністю 34 кВт/тонну. Завдяки високому відношенню потужності до ваги цей клас в основному є репрезентативним для транспортних засобів, що використовуються в Японії та Європі. Гібридні та електромобілі також відносяться до цього класу. Клас 3 відрізняється від інших класів тим, що в ньому є дві підкатегорії - класи 3а і 3б. Клас 3а використовується для транспортних засобів, які не можуть розвивати максимальну швидкість 120 км/год тоді як 3б використовується для транспортних засобів, які можуть перевищувати швидкість 120 км/год (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 –Тест WLTP для транспортних засобів III класу

WLTP став новим стандартом для дорожніх випробувань автомобілів, створюючи більш об'єктивні умови випробування до реального водіння. Це важливий крок у напрямку створення автомобільних технологій, ефективних та екологічно чистих інновацій, впровадження електричних та гібридних транспортних засобів, а також використання більш ефективних систем очищення викидів.

1.2 Альтернативні види палива для двигунів внутрішнього згорання

Стандартні специфікації палива застосовуються до комерційно доступного палива, щоб забезпечити відповідність його призначенню продуктивності та довговічності двигуна. Сертифіковане паливо (паливо, що використовується для розробки двигуна, калібрування та сертифікації) та викидів у репрезентативних сценаріях експлуатації [3]. У всьому світі стандарти технічних характеристик палива відрізняються залежно від країни та регіону, але більшість з них відповідають або корелюють зі стандартами, встановленими ASTM International [6] або Європейським комітетом

стандартизації (CEN). Поточні основні європейські стандарти охоплюють бензин EN 228, дизельне паливо EN590 та біодизеля EN14214 [6].

Стандарти зазвичай охоплюють чотири основні аспекти для виробників двигунів та клієнтів:

- ефективність згорання (ефективність, потужність, керованість процесів) і викиди;
- вплив на системи двигуна;
- транспортабельність (палива);
- безпека використання та вплив на навколишнє середовище.

Паливо для транспортної галузі в основному виготовляється на нафтопереробних заводах, починаючи з нафти, а потім змішуючи продукти кількох нафтопереробних процесів. Нафту спочатку розділяють на фракції з різними діапазонами кипіння шляхом дистиляції. Найлегша фаза, зріджений нафтовий газ або LPG, складається з розчинених газів, які вивільнюються, коли температура підвищується вище температури навколишнього середовища, і може становити до 1...3% сирої нафти. Його основним компонентом є пропан в межах 70...80%. Фракція, що кипить в діапазоні від 20°C до 220°C, називається бензином прямогонної переробки. Нафту потрібно додатково обробити, щоб покращити її стійкість до самозаймання, перш ніж використовувати її як компонент бензину. Фракція в діапазоні кипіння від 155°C до 380°C називаються середніми дистилятами. У цю фракцію входить комерційне дизельне паливо. Залежно від джерела сирої нафти, від 38% до 62% об'єму нафти можуть бути з температурою кипіння вище 380°C. Ці більш важкі фракції повинні бути перетворені шляхом подальшої обробки в більш легкі фракції, які можна використовувати як паливо [6].

Перед тим, як різні нафтові фракції почнуть використовуватись в якості комерційного палива, для забезпечення певних характеристик палива, окрім основних компонентів, додається ряд добавок, як етанол та інші оксигенати, метил-третбутиловий ефір.

Характеристики згоряння палива в основному класифікуються за якістю samozаймання, яка вимірюється дослідницьким RON (Research Octane Number) моторним октановим числом MON (Motor Octane Number) для бензинів. Чим вищий RON, тим стійкіший бензин до samozаймання, тоді як вищий CN вказує на те, що паливо більш схильне до samozаймання - існує зворотна кореляція між RON та CN.

Числа RON і MON вимірюються під час випробувань і мають фундаментальне значення для нафтової промисловості, оскільки виробництво палива в першу чергу обумовлено необхідністю відповідати необхідним стандартам щодо октанової якості бензину. Випробування RON проводять на одноциліндровому двигуні при частоті обертання двигуна 600 об/хв (обертів за хвилину) і температурі впуску 52°C, тоді як випробування MON проводять при 900 об/хв і з вищою температурою впуску 149°C. Октанова шкала базується на двох алканах, н-гептані та ізооктані. Суміші цих двох основних компонентів називають первинним еталонним паливом та об'ємним відсотком. Паливу присвоюється значення RON (або MON) PRF, яке відповідає його детонаційній поведінці в тесті RON (або MON).

Бензини складаються з порівняно легших вуглеводнів із числом атомів вуглецю, як правило, від 4 до 11, тоді як дизельне паливо містить важчі сполуки з вищою точкою кипіння, як правило, з числом атомів вуглецю від 10 до 21 [2], [7], [8], [13].

Дизелі характеризуються цетановим числом CN. Цетанове число (CN) палива вимірюється шляхом порівняння його характеристик займання з еталонними паливами в одноциліндровому дизельному двигуні. Еталонна шкала базується на нормальному цетані, н-гексадекані, який має число CN 100, а також гептаметилнонан - сильнорозгалужений парафін, якому цетанове число, якого становить CN 15. Зовсім недавно був розроблений метод лабораторних випробувань, заснований на вимірюванні затримки займання - похідне цетанове число (DCN), що розраховується на основі виміряної затримки займання.

На ринку найчастіше зустрічається дизельне паливо, що має цитанове число CN від 40 до 60, тоді як RON для бензині знаходиться в межах від 90 до 100. Реактивне паливо або гас має нижчу кінцеву точку кипіння, нижче цетанове число та нижчу щільність порівняно зі звичайним європейським дизелем.

Двома основними відновлюваними альтернативними видами палива, які широко використовуються є: етанол та біодизель FAME та HVO (Hydrogenated Vegetable Oils). Відновлювані види палива на основі целюлози та водоростей можуть з'явитися за умови достатньої економічної ефективності виробництва альтернативної сировини, яка складається з повністю гідрогенованих речовин, подібних до тих, що містяться в паливі, отриманому з нафти. Широкі дослідження спиртів та їх сумішей з нафтою (наприклад, кисневмісні структури, ефіри, карбонатні складні ефіри, валерати, кетони, фурани, ацетати та оксигенатні суміші ацетонбутанол-етанол) викликають значний інтерес в останні кілька. Це зумовлено їх використанням як доповненням для викопного палива, підвищення октанового числа, потенційно менших втрат при переробці.

Таблиця 1.3 – Типи основ для альтернативного палива

Викопне паливо	Паливо на біооснові			
Дизель	Біодизель	Спирти	Оксигенований	Кисневі суміші
Бензин	HVO/ Фарнезан	Метанол	Ефіри	Ацетон Бутанол Етанол
Зріджений газ		Етанол	Карбонатні ефіри	
		Пропанол	Валерати	
		Бутанол	Кетони	
			Фурани	
			Ацетати	

Таблиця 1.4 – Основні характеристики альтернативних видів палива

Показник	Од. виміру	Дизель EN 590		Бензин EN228		FANE 14214		HVO	E85
Теплотворна здатність	МДж/кг	40,*9		46,5					
Цетанове число		51	–	горіння				>70	-
Цетановий індекс		46	–			51,0	–		-
Дослідження октанового числа, RON				95	--				95
Дослідження октанового числа, MON				85	--				85
Ароматичні вуглеводні	% (м/м)							<1,0	
Поліциклічні ароматичні вуглеводні	% (м/м)	–	8					<0,1	
Метилевий ефір жирної кислоти (FAME)	% (V/V)	-	7,0					0	
Вміст FAME	% (м/м)					96,5	–	-	
В'язкість при 40 °С	мм ² /с	2000	5			3,50	5	2-4	
Вуглеводневий тип	%								
вміст				--	18				
- олефіни				--	35				
- ароматичні									
Вміст бензолу	%			--	1				
Кисень	% (м/м)			--	4				30,82
Збагачує вміст киснем	%			--	3,0				C1OH - 10 C3OH- C8OH 2,0 ефіри 5,2
- метанол				--	10				
- етанол				--	12				
- ізопропіловий спирт				--	15				
- ізобутиловий спирт				--	15				
- трет-бутиловий спирт				--	22				
- прості ефіри (5 і більше атоми С)				--	15				
- інше насичення киснем									
Дистиляція % (V/V) відновлення при 250 °С % (V/V) відновлення при 350 °С 95 % (V/V) відновлення при	% (V/V) °С		< 65 360						
Дистиляція 95%	°С							<320	
Кінцева точка кипіння	°С							<330	
Точка займання	°С	вище 55,0	–			101	–	>61	
Густина при 15°С	кг/м ³	820	845	720	77 5	860	90 0	770,0- 790.	760- 800

Таблиця 1.5 – Характеристики найбільш поширених видів палива

	Бензин E10	Дизель з низьким вмістом сірки	Біодизель	Пропан (LPG)	Стиснений природний газ (CNG)	Зріджений природний газ (СПГ)	Етанол E100	Метанол	водень	Електрика
Хімічна будова	C4до C12 і етанол ≤10%	C8до C25	Метилові ефіри C12 до C22	C3X8 більшість і C4H10 меншість	CH4 (більшість), C2H6і	CH4такий же, як CNG з інертними газами <0,5%	CH3CH2OH	CH2OH	H ₂	N/A
Сировина	Сиropyля	Сиropyля	Жирна також олії з соєвих бобів, відходів олії, тваринних жирів і ріпаку	Побічний продукт переробки нафти або природного газу	Підземні запаси та відновлювана біогазі	Викопні запаси та відновлюваний біогаз	Кукурудза, зерно, відходи сільськогосподарства, целюлоза	Природний газ, вугілля, деревна біомаса, відходи	Природний газ, метанол, електроліз води	Вугілля, атомна енергія, природний газ, гідро, вітер, сонячна енергія
Еквівалент бензину	97% - 100%	113%.	B100 і B20 мають 103% і 109% бензину і 93% і 99% дизеля	1 л пропану містить 73%	2,66 і 2,38 літрів CNG мають 100% енергії 1 л бензину та дизеля відповідно	2.38 і 2,06 літрів СПГ мають 100% енергії 1 л бензину та дизеля відповідно.	E10 і E85 містить 96,7% і 73-83% бензину	49% бензину.	1 кг H ₂ має 100% енергії бензину.	33,7 кВт/год містить 100% енергії бензину
Вміст енергії	112 – 116 МДж/л	128,488 35,8 МДж/л	B100 (33,4 МДж/л)	23,5 МДж/л	46,9 МДж/кг)	49,4 МДж/кг)	E100 21,3 МДж/л	6,0 МДж/л	120 МДж/кг)	3,414 кВт-год
Вища теплотворна здатність)	(33,6-334,7 МДж/л	38,6 МДж/л	B100 35,7 МДж/л	25,5 МДж/л	52,2 МДж/кг	55,2 МДж/к)	E100 23,6 МДж/л	18,2 МДж/л	142 МДж/кг	3,414 /кВт-год
Фізичний стан	Рідина	Рідина	Рідина	Під тиском Рідина	Стиснений газ	Кріогенний Рідина	Рідина	Рідина	Стиснений Газ або рідина	Електрика
Цетанове число номер	N/A	40-55	48-65	N/A	N/A	N/A	0-54	N/A	N/A	N/A
Октанове число	84-93	N/A	N/A	105	120+	120+	110	112	130+	N/A
Точка спалаху	43 °C	74 °C	100-170 °C	73-101 °C	-184 °C	188 °C	13 °C	11 °C	N/A	N/A
Температура самозаймання	257 °C	316 °C	149 °C	454-510 °C	540 °C	540 °C	422 °C	481 °C	566-582 °C	N/A

Наведені параметри альтернативних видів палива, пов'язані переважно з характеристиками згоряння, решта параметрів в основному пов'язані зі стабільністю палива при зберіганні та окисненні. Слід зазначити, що в публікаціях, пов'язаних із використанням альтернативних видів палива та паливних сумішей призначених для змішування з існуючим паливом. Однак потребують подальших досліджень інші параметри, пов'язані зі стандартами та характеристиками палива, та наслідками їх використання для систем двигуна [2], [13].

1.3 Системи нейтралізації відпрацьованих газів

П'ять основних класів видів забруднюючих речовин, що викидаються в результаті будь-якого процесу горіння - це оксиди азоту (NO_x); чадний газ (CO), органічні сполуки, незгорілі та частково спалені вуглеводні, оксиди сірки (SO_x) і тверді частинки. У двигунів, які що працюють на природному газі, викиди оксидів сірки та твердих часток (PM) є незначно меншими. Типовий склад вихлопних газів від двигунів внутрішнього згоряння залежно від співвідношення паливно-повітряної суміші показаний на рисунку 1.6.

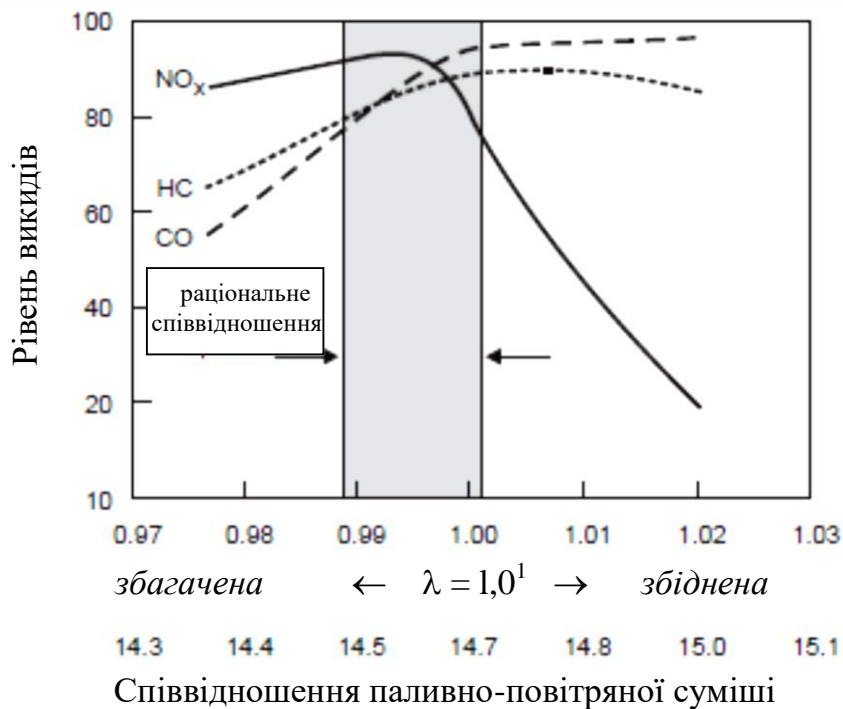


Рисунок 1.6 – Залежність концентрацій забруднюючих речовин від співвідношення паливно-повітряної суміші

В атмосфері оксиди азоту реагують на дію сонячного світла і з незгорілими вуглеводнями утворюють фотохімічний смог, який згубно впливає на навколишнє середовище. Оксиди азоту (NO_x) відносяться до комбінації оксиду азоту (NO) і діоксиду азоту (NO₂). Утворення NO₂ відбувається лише в результаті окислення NO, тому загальний NO_x (NO + NO₂) не впливає кількість утвореного NO₂ [14], [23]. Таким чином розрахунку NO зазвичай достатньо для визначення NO_x. Механізм утворення NO_x був темою інтенсивних досліджень для багатьох десятиліть. Огляд літератури показав, що існує кілька шляхів для формування NO_x. Існує чотири добре відомі хімічні механізми утворення NO. До них належать реакції Зельдовича (рис. 1.7), швидкий шлях, шлях закису азоту та зв'язаний з паливом азоту.

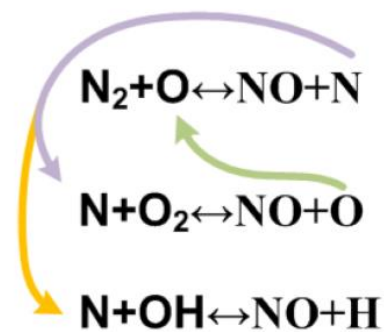


Рисунок 1.7 – Механізм Зельдовича утворення NO_x

Цей механізм є першою великою роботою, проведеною з вивчення кінетики утворення NO_x. Механізм Зельдовича складається з двох ланцюгових реакцій NO, що утворюється за механізмом Зельдовича, називають тепловим NO, оскільки швидкість утворення сильно залежить від температури. широко використовуваний і визнаний механізм утворення NO. Ця реакція протікає тільки при досить високих температурах. Як правило тепловий механізм зазвичай можливий при температурах вище 1200 °C, утворення NO, яке відбувається дуже швидко в зоні первинної реакції камери згоряння. Пізніше дослідники виявили, що NO утворюється з вуглеводневих фрагментів присутніх під час процесу горіння, реагуючи з азотом (Nicol et al.,

Первинна початкова реакція атом N стає NO через дві останні реакції в механізмі Зельдовича, перетворюючись на ціанід водню (HCN) до NO складний, але його основний шлях проходить через NCO, NH, N та потім до NO [18], [23].

Механізм утворення закису азоту (N₂O) був досліджений згодом 1974 році як важлива реакція утворення NO при низьких температурах згоряння збідненої суміші.

Оксид вуглецю утворюється під час проміжної стадії будь-якого спалювання вуглеводнів схему реакції, як зображено на рисунку 1.8.

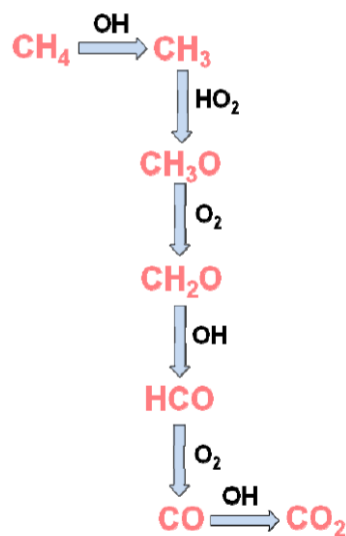


Рисунок 1.8 – Реакції окислення метану (CH₄)

Після цього проміжного етапу, якщо температура горіння залишається достатньо високою протягом достатнього періоду часу, CO починає окислюватися гідроксильний вільний радикал OH з утворенням CO₂ відповідно до наступної реакції.

Утворення монооксиду вуглецю дуже залежить від температурного профілю, швидкості змішування і часу реакції. Швидкість утворення CO обернено пропорційна до місця перебування забруднюючої речовини в зоні вигорання CO до того, як відбудеться гасіння процесу окиснення. Велика кількість CO утворюється під час згоряння багатой суміші через брак достатньої кількості кисню для завершення реакції з утворенням CO₂. Якщо

горюча суміш стехіометрична або помірно збіднена, значні кількості CO також будуть присутні через дисоціацію CO₂.

Утворення та окислення чадного газу в основному відбувається через складний механізм горіння досі й не повністю описує спалювання CH₄. Використання кожного механізму для кількісного визначення окислення може вимагати вирішення приблизно 1000 зв'язаних диференціальних рівнянь.

Використання системи NSCR передбачає три компоненти для контролю NO_x, CO та незгорілих викиди вуглеводнів (HC) для цього використовується: трикомпонентний каталізатор (TWC), регулятор співвідношення повітря та палива (AFRC), датчики кисню у вихлопних газах (EGO) або лямбда-зонд (λ) для визначення концентрації кисню в вихлопних газах. Усі три компоненти повинні правильно функціонувати та бути належним чином налаштовані для належного надійної роботи та підтримання цільового рівня зменшення викидів (рис.1.9).

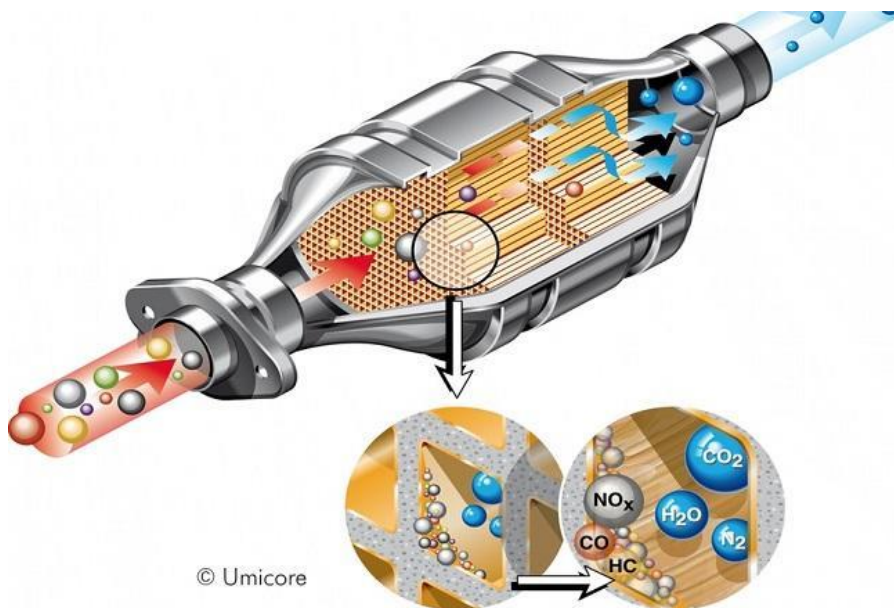


Рисунок 1.9 – Трьохходовий (трикомпонентний) каталітичний нейтралізатор

В сучасних автомобілях використовуються переважно триходові каталітичні нейтралізатори. Під час проходження високотемпературного

вихлопу через 3-компонентний каталізатор, у якому збільшується активність в обробки трьох видів газів: CO (вуглекислий газ), HC (вуглеводні) та NOx (оксиди азоту) [24].

При взаємодії з каталізатором CO окислюється за високої температури, перетворюючись на безбарвний і нетоксичний вуглекислий газ (CO₂). Також при високій температурі з'єднання HC піддається окисленню до води (H₂O) та вуглекислого газу (CO₂), що сприяє подальшому зменшенню шкідливих викидів. Та паралельно NOx відновлюється до азоту (N₂) та кисню (O₂).

У результаті цих процесів трихоловий каталізатор допомагає перетворити токсичні вихлопні гази в менш шкідливі сполуки, зменшуючи негативний вплив автомобільних викидів на довкілля.

Регенерація відпрацьованих газів дизельних двигунів працює іншим чином. DOC каталізатор є першим пристроєм у системі доочищення, який містить дорогоцінні метали для початку окислення вуглеводнів, чадного газу та незгорілого палива та мастила. DOC, і DPF є структурованими керамічними фільтрами (рис. 1.10) [24].

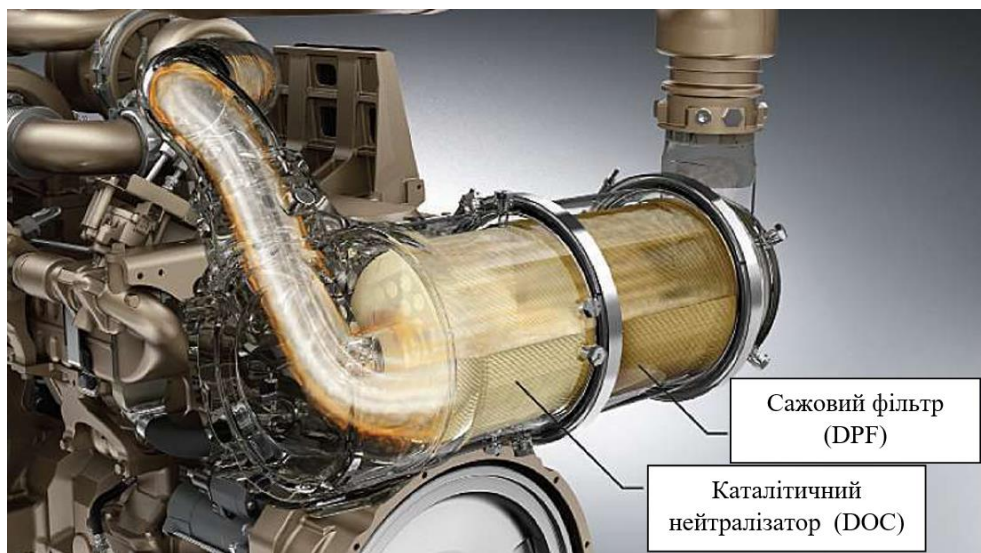


Рисунок 1.10 – Система нейтралізації дизельного двигуна

Однак, на відміну від DOC, DPF затримує залишки сажі, які DOC не може окислити. Сажа залишається в ньому до тих пір, поки не відновиться пасивно або активно. Пасивна регенерація відбувається, коли звичайна

робоча температура автомобіля та компонентів DPF-фільтра знаходяться в діапазоні 275-360°C, тоді відбувається активне окислення твердих частинок.

Активна регенерація запускається, коли датчики виявляють надмірне накопичення частинок у DPF-фільтрі. Сире паливо впорскується у потік вихлопних газів, щоб викликати температуру понад 600° °C, необхідну для окислення та випалення накопиченої сажі. Зворотний підпір тиску зазвичай приходить в норму після зникнення нагару. Зола накопичується набагато повільніше, ніж сажа, накопичується всередині DPF, кількість активних регенерацій збільшується, що спричиняє низьку економію палива, екстремально високі температури та більш постійний зворотний тиск, що може бути шкідливим для турбокомпресора.

Останнім компонентом у системі доочищення є подача реагента AdBlue через каталізатор SCR, який вводить у процес відновлення азотовмісні речовини (DEF), які сприяють подальшому розщепленню оксидів азоту, які проходять через фільтр SCR. Зазвичай фільтр SCR не потребує обслуговування, за винятком рідкісних випадків, коли елементи SCR повністю виходять з ладу [24].

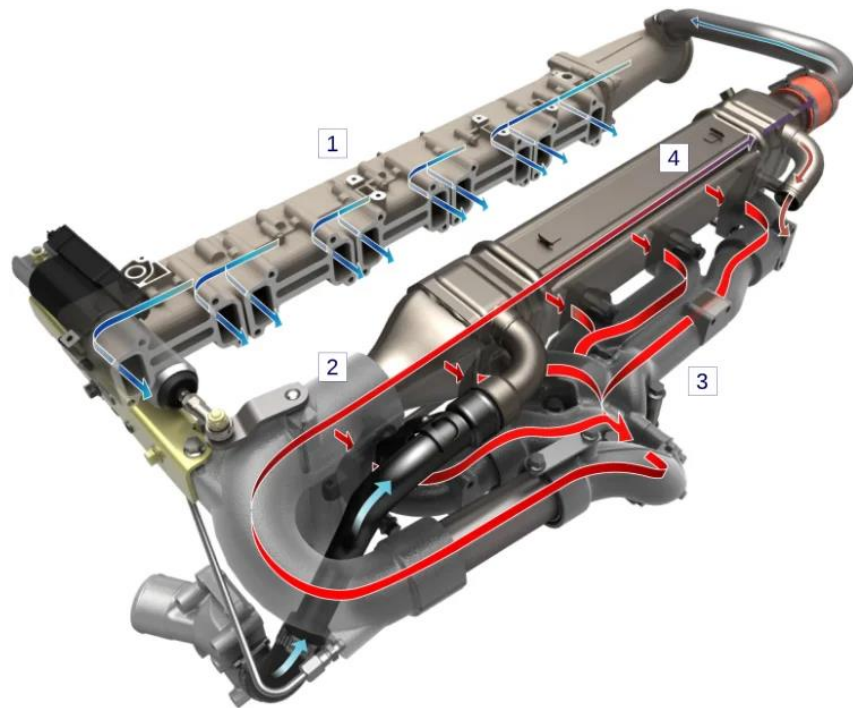
Ще однією системою контролю викидів NOx є технологія EGR - рециркуляції відпрацьованих газів й застосовується для широкого діапазону дизельних двигунів від легких, середніх і важких дизельних двигунів до двотактних низькошвидкісних суднових двигунів. Системи EGR також використовуються в багатьох категоріях двигунів з циклом Отто,

Більшість систем EGR включають наступні основні елементи:

- один або кілька клапанів управління EGR;
- один або кілька охолоджувачів EGR;
- трубопроводи, фланці та прокладки.

Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) — це система високого тиску (HPL), де частина вихлопних газів надходить із турбокомпресора. Турбонагнітач зі змінною геометрією, серед інших завдань, забезпечує позитивну різницю тиску між випускним і впускним

колекторами, щоб за потреби був доступний достатній потік EGR. Який потім EGR проходить через охолоджувач, у який подається охолоджуюча рідина із сорочки двигуна (рис. 1.11).



1- впускний колектор; 2 - клапан EGR; 3 - випускний колектор;
4 – радіатор охолоджувача EGR

Рисунок 1.11 – Система EGR з одноступеневим охолодженням для двигунів Scania Euro IV

Від охолоджувача EGR гази протікають через трубку клапана EGR до іншої сторони двигуна до витратоміра типу Вентурі, який забезпечує сигнал зворотного зв'язку для моніторингу швидкості роботи EGR. Регулюючий клапан EGR, розташований безпосередньо перед корпусом змішувача, відповідає за контроль швидкості потоку.

Висновки за розділом

1. Під час роботи двигунів внутрішнього згорання та функціонування автомобільних систем значна кількість шкідливих речовин вивільняється у навколишнє середовище разом із відпрацьованими газами.

2. На основі проведених досліджень виявлено, що ефективним заходом для зниження рівня викидів шкідливих речовин є використання альтернативних видів палива, що можуть використовуватись у сумішах чи відповідних пропорціях.

3. Введення більш жорстких екологічних стандартів призвело до широкого використання виробниками автомобілів різноманітних систем нейтралізації відпрацьованих газів. Найбільш розповсюдженими є адсорбери, каталітичні нейтралізатори, сажові фільтри, каталізатори систем SCR, система EGR.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГІЇ ЗГОРЯННЯ В ДВЗ

2.1 Процеси утворення енергоносіїв в камері згоряння

У двигуні енергія надходить від реакції згоряння паливо-повітряної суміші. Перед початком такту впуску відкривається впускний клапан, дозволяючи суміші газоподібного палива надходити в циліндр. Після закінчення такту впуску впускний клапан закривається, затримуючи заряд у циліндрі. Заряд стискається, а потім запалюється іскрою на піку такту, вивільняючи хімічну енергію й змінюється склад суміші від початкових реагентів до продуктів згоряння [4], [8].

$$Q_c = H_p - H_r \quad (2.1)$$

Враховуючи:

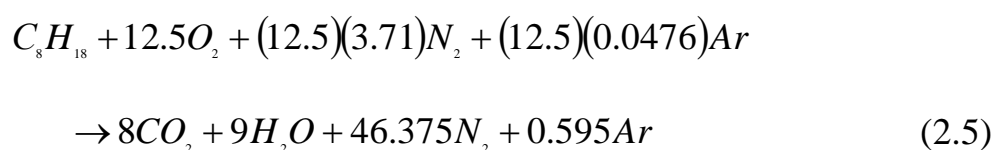
$$\bar{h} = \bar{c}_p T \quad (2.2)$$

Отримати аналітичні залежності утворення енергії досить важко, оскільки бензин це суміш, яка містить зазвичай понад сорок вуглеводневих сполук. Його склад значною мірою визначається складом сирової нафти, з якої його очищають. У розрахунках часто використовують октан, C_8H_{18} , який як хімічна речовина, що імітує бензин. Тоді як повітря вважається сумішшю 78% азоту, 21% кисню і 1% аргону за об'ємом. Ці об'ємні частки еквівалентні молярним часткам суміші:

$$YN_2 = 0.78, \quad YO_2 = 0.21, \quad YAr = 0.01 \quad (2.3)$$

$$YN_2 = 3.71YO_2, \quad YAr = 0.0476YO_2 \quad (2.4)$$

Тоді хімічно збалансована реакція палива та повітря виглядає наступним чином:



З рівняння балансу ми можемо встановити мольні частки для кожного компонента суміші. Загальна кількість молей реагентів становить 60,47. Тоді молярні частки реагентів матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} Y_{C_8H_{18}} &= 0.0165, \\ Y_{O_2} &= 0.2067, \\ Y_{N_2} &= 0.767, \\ Y_{Ar} &= 0.00983 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Необхідно звернути увагу, як молярна частка кожного виду в повітрі дещо зменшилася внаслідок додавання газоподібного палива. Рівняння балансу також визначає співвідношення повітря й палива (за масою). $AF = 15,07$. Молекулярна маса споживаної суміші становить:

$$M_i = \sum_{i=1}^n Y_{Mi} = 30.36 \frac{g}{mol} = 30.36 \frac{kg}{kmol} \quad (2.7)$$

Ми можемо знайти енергетичні реакції кожного виду в суміші, помноживши його на моль. Тоді загальна ентальпія суміші дорівнюватиме сума видових реакцій [4]:

$$H_{mix} = \sum_{i=1}^m n_i \bar{h}_i \quad (2.8)$$

Ентальпії елементів і молекул визначаються експериментально і наводяться за стандартними умовами 25 °C і 100 кПа. Їх зазвичай називають «ентальпіями утворення», для різноманітних видів реакції повітря та палива

$$N_2 : \bar{h}_f^0 = 0 \quad (2.9)$$

$$O_2 : \bar{h}_f^0 = 0 \quad (2.10)$$

$$Ar : \bar{h}_f^0 = 0 \quad (2.11)$$

$$C_8H_{18} : \bar{h}_f^0 = -208447.0 \quad (2.12)$$

$$CO_2 : \bar{h}_f^0 = -393522.0 \quad (2.13)$$

$$H_2O: \bar{h}_f^0 = -241827.0 \quad (2.14)$$

Необхідно зауважити, що гази мають нульову енергію утворення оскільки вони існують без жодної елементарної реакції взаємодії. Газові суміші, що утворюють робоче тіло двигуна, майже ніколи не будуть відповідатимуть стандартним умовам. Очікувано, що продукти згоряння будуть далекі від цих значень, отриманих під час аналітичних розрахунків.

Разом з ентальпіями утворення дослідники виміряли постійний тиск питомої теплоємності багатьох елементів і сполук і створили поліноміальні наближення відносно температури. Ці поліноми можна використовувати для знаходження нестандартних ентальпій для елементів і сполук:

$$N_2: \bar{c}_p = 39.060 - 512.790T^{-1.5} + 1.0727 \times 10^7 T^{-2} - 8.204 \times 10^8 T^{-3} \quad (2.15)$$

$$O_2: \bar{c}_p = 37.432 + 2.0102 \times 10^{-5} T^{1.5} - 178.570T^{-1.5} + 2.3688 \times 10^6 T^{-2} \quad (2.16)$$

$$Ar: \bar{c}_p = 520.426 \quad (2.17)$$

$$C_8H_{18}: \bar{c}_p = -323.5 + 36.98T^{0.5} - 0.4332T + 1.723 \times 10^{-5} T^2 \quad (2.18)$$

$$CO_2: \bar{c}_p = -3.7357 + 3.0529T^{0.5} - 0.041034T + 2.4198 \times 10^{-6} T^2 \quad (2.19)$$

$$H_2O: \bar{c}_p = 143.05 - 58.04T^{0.25} + 8.2751T^{0.5} - 0.036989T \quad (2.20)$$

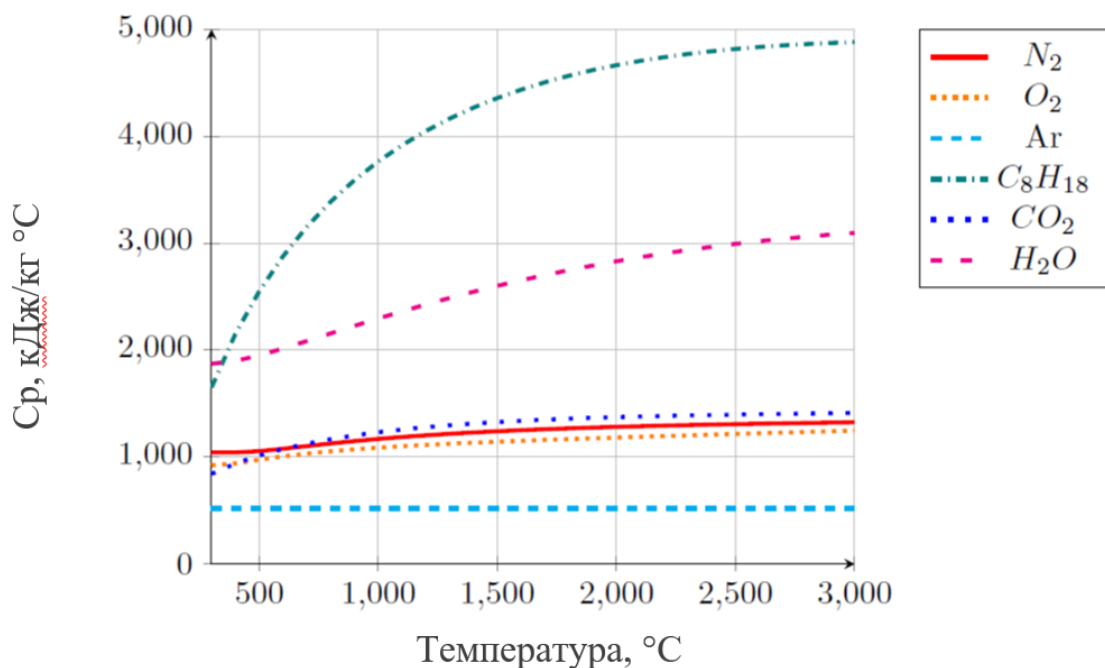


Рисунок 2.1 – Утворення енергії залежно від температури

На рисунку 2.1 показано значення енергії \bar{c}_p для кожного виду газу як функція температури. Значення аргону є постійним. Будучи одноатомним газом, в ньому не накопичується енергії та в молекулярних коливаннях, не може дисоціювати і до 5500 °C не іонізується.

Нестандартна енергетична ентальпія елемента або сполуки визначається додаванням енергії утворення та зміни від фактичної до стандартної температури:

$$\bar{h} = \bar{h}_f^0 + \Delta\bar{h} \quad (2.21)$$

Диференціювання від фактичної до стандартної температури матиме вигляд :

$$\Delta\bar{h} = \int_{T_0}^T \bar{c}_p dT \quad (2.22)$$

Поліноми \bar{c}_p можна аналітично інтегрувати, отримуючи нові поліноми для \bar{h} :

$$N_2 : \Delta\bar{h} = 39.06T + 1.0256 \times 10^6 T^{-0.5} - 1.0727 \times 10^7 T^{-1} + 4.102 \times 10^8 T^{-2} \Big|_{T_0}^T \quad (2.23)$$

$$O_2 : \Delta\bar{h} = 37.432T + 8.0 \times 10^{-6} T^{2.5} + 357.140T^{-0.5} - 2.3688 \times 10^6 T^{-1} \Big|_{T_0}^T \quad (2.24)$$

$$Ar : \Delta\bar{h} = 520.426T \Big|_{T_0}^T \quad (2.26)$$

$$C_8H_{18} : \Delta\bar{h} = -323.5T + 24.65T^{1.5} - 0.2166T^2 + 5.74 \times 10^{-6} T^3 \Big|_{T_0}^T \quad (2.27)$$

$$CO_2 : \Delta\bar{h} = -3.7357T + 2.0353T^{1.5} - 0.02052T^2 + 8.0 \times 10^{-7} T^3 \Big|_{T_0}^T \quad (2.28)$$

$$H_2O : \Delta\bar{h} = 143.05T - 46.43T^{1.25} + 5.5167T^{1.5} - 0.01849T^2 \Big|_{T_0}^T \quad (2.29)$$

2.2 Енергія стехіометричного співвідношення паливоповітряної суміші

Нарешті, енергія, що виділяється при згорянні заряду, розраховується шляхом повернення до рівняння 2.1:

$$\begin{aligned}
 H_p(T_p) &= (8)[-393.522 + \Delta\bar{h}(T_p)_{CO_2}] + (9)[-241.827 + \Delta\bar{h}(T_p)_{H_2O}] + (46.375)[\Delta\bar{h}(T_p)_{N_2}] + (0.595)[\Delta\bar{h}(T_p)_{Ar}] \\
 H_r(T_r) &= (1)[-208447 + \Delta\bar{h}(T_r)_{C_8H_{18}}] + (12.5)[\Delta\bar{h}(T_r)_{O_2}] + (12.5)(3.71)[\Delta\bar{h}(T_r)_{N_2}] + (12.5)(0.0476)[\Delta\bar{h}(T_r)_{Ar}] \\
 Q_c &= H_p(T_p) - H_r(T_r) \text{ (kJ)} \quad , \quad (2.30)
 \end{aligned}$$

де T_p – температура продуктів, T_r – температура реагентів.

Це дає нам загальну енергію, вивільнену в результаті реакції, де був 1 моль палива спаленого з 12,5 молями повітря. На стехіометричний моль палива виділення енергії становить:

$$\bar{q}_{c_{fuel}} = \frac{Q_c}{n_{f_s}} = \frac{H_p(T_p) - H_r(T_r)}{1} \quad (2.31)$$

Моделюючи вперед у часі шляхом обчислення щільності заряду для кожного інтервалу часу. Знаючи об'єм заряду на кожному інтервалі часу, тож можемо обчислити масу заряду в циліндрі. Загальна маса заряду дорівнює:

$$m_T = m_{air} + m_{fuel} \quad (2.32)$$

А співвідношення повітря до палива становить:

$$AF = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \rightarrow m_{air} = AF m_{fuel} \quad (2.33)$$

$$m_r = AF m_{fuel} + m_{fuel} = m_{fuel} (AF + 1) \rightarrow m_{fuel} = \frac{m_r}{AF + 1} \quad (2.34)$$

Тоді кількість молів палива в заряді дорівнює:

$$n_f = \frac{m_{fuel}}{M_{fuel}} = \frac{m_T}{(AF + 1)M_f} \quad (2.35)$$

Необхідно звернути увагу, на те що це не стехіометрична кількість молів палива. Це число молів палива, фактично введеного в циліндр.

Нарешті, виходячи з маси заряду в циліндрі, ми маємо енергію, що виділяється при згорянні впускного заряду:

$$Q_c = \bar{q}_{c_{fuel}} n_f = [H_p(T_p) - H_r(T_r)] \frac{m^T}{(AF + 1)M_f} \quad (2.36)$$

Рівняння 2.36 дає загальну енергію заряду внаслідок згорання його реагентів. Залишилося питання, як визначити T_p і T_r . T_p – температуру продуктів горіння. Для цього необхідно використовувати температуру заряду. Оскільки, коли ми додаємо енергію згорання до заряду, його температура підвищується. Це у свою чергу впливає на ентальпію газоподібних продуктів і кількість енергії у міру горіння й залежить від кількості згорілих та незгорілих часток [4].

Висновки за розділом

1. У розділі виведено аналітичні залежності утворення енергії під час згорання паливо-повітряної суміші, розраховано кількість енергії, яка утворюється під час згорання стехіометричної суміші.

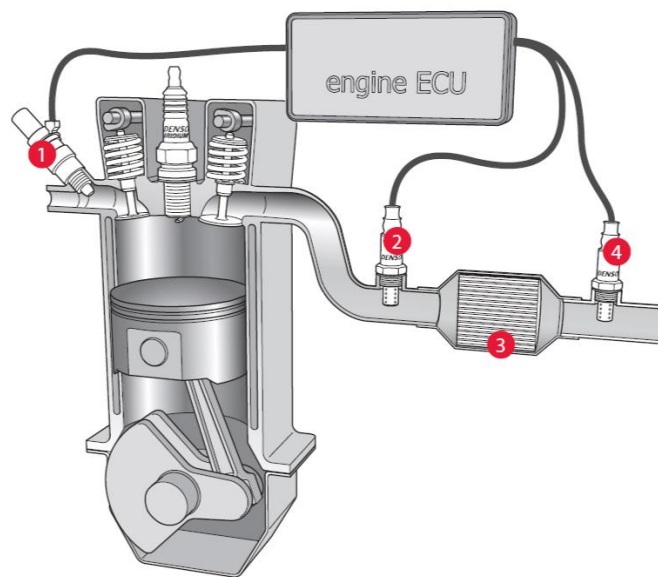
РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Системи контролю стехіометрії паливно-повітряної суміші

Найпоширеніший випадок застосування кисневих сенсорів є автомобільні датчики кисню, також відомий датчики лямбда-зонди, які стали обов'язковими компонентами для подачі та ефективного згоряння палива,

Кожен новий автомобіль і більшість автомобілів, випущених з 1980 року, оснащені лямбда-зондами. Лямбда-зонди працюють разом із системою уприскування палива автомобіля, каталітичний нейтралізатор і електронним блоком керування двигуном (рис. 3.1) [14], [23].



1 - паливний інжектор; 2 - попередній лямбда-зонд; 3 - каталітичний
нейтралізатор 4 - лямбда-зонд

Рисунок 3.1 – Система взаємодії сенсора кисню

Збагачене горіння характеризується зменшеною масою повітря, в результаті чого збільшується кількість палива у вихлопі. Обернено, збіднене горіння має надлишок кисню у вихлопі. Автомобільні лямбда датчики були представлені Робертом Бошем [1] у 1970 -х роках та використовувались в на

основі солідитрій-стабілізованого діоксиду цирконію (YSZ) за вузькосмуговою технологією (рис. 3.2).

Щоб виконати це коригування складу паливно-повітряної суміші до відносно стехіометричних значень (14,7:1), введено поняття коефіцієнта надлишку повітря λ . За вказаних стехіометричних умов (14,7:1) коефіцієнт надлишку повітря $\lambda = 1$, оцінюється процес згоряння.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд сенсора кисню

Використання палива, досягаючи оптимальної потужності дає можливість автомобілям працювати як на збіднених, так і збагачених сумішах для підвищення ефективності використання палива та забезпечення відповідної потужності. Зменшення споживання палива призводить до зменшення потужності двигуна. Для досягнення розумної потужності та покращення споживання палива, враховуючи обмеження викидів у навколишнє середовище, на лямбда-зонд покладається механізм зворотного зв'язку для контролю формування пропорції паливно-повітряної суміші.

Потенціометричні та амперометричні датчики є найбільш широко використовуваними автомобільними кисневими сенсорами. Як потенціометричні, так і амперометричні датчики зазвичай використовують форму цирконію (ZrO_2), який стабілізований ітрієм (Y_2O_3), у кількості 1,5 моль та має скорочену аббревіатуру YSZ. Стабілізація ZrO_2 проводиться для запобігання змін кристалічної фази та деградації матеріалу при температурах, які перевищують $1000\text{ }^\circ\text{C}$, а також підтримання іонної провідності.

Існують інші суцільні кисневі електроліти такі як оксид серію (CeO_2), Лангантанум (LaGaO_3), оксид вісмуту (Bi_2O_3), оксид вісмуту, стабілізований ітрієм та діоксид торію (ThO_2).

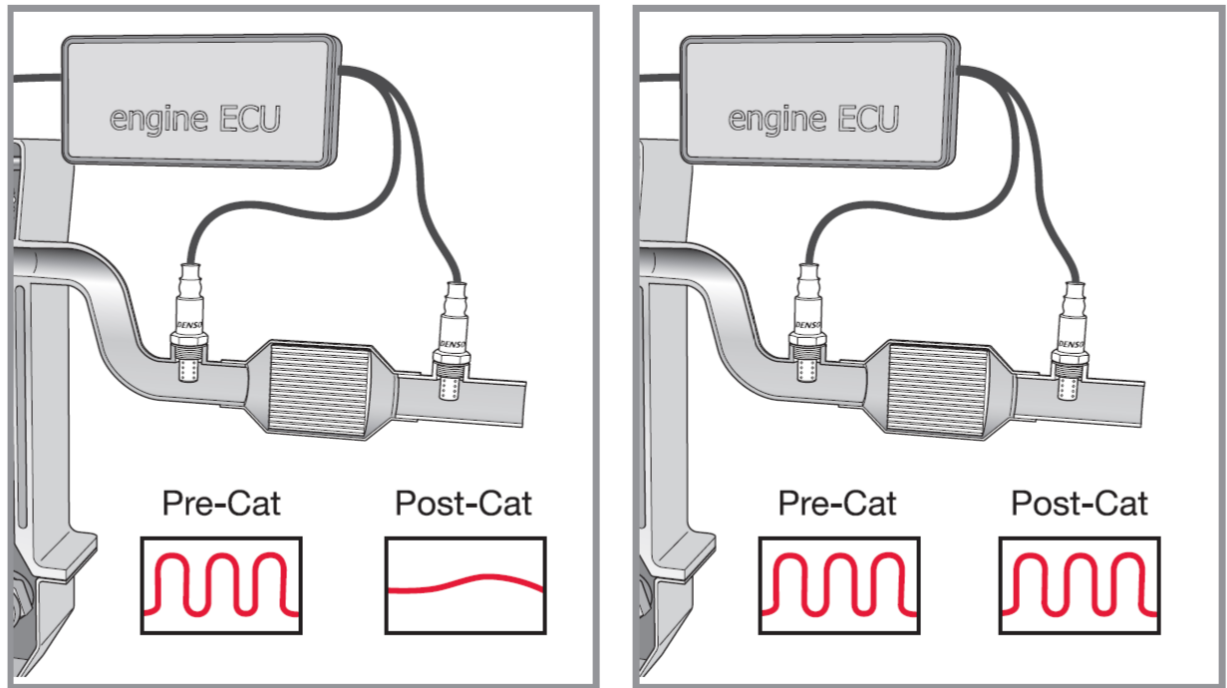
Незважаючи на існування інших твердих електролітів, технологія типу YSZ є домінуючою як у комерційних програмах, так і в дослідженнях для кисневого зондування. Основна причина його активного використання є висока іонна провідність, $5 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$, низька електронна провідність, сумісність з електродами каталізатора та механічна, теплова та хімічна стабільність при температурі, що перевершує 800 С.

Коли лямбда-зонд визначає рівень вмісту кисню у вихлопному газі ECU отримує вихідний сигнал датчика і вирішує, чи суміш має відповідне співвідношення повітря/паливо.

Кількість палива, що впорскується, регулюється за допомогою «часу впорскування». При виявленні суміші занадто великої кількості палива, час впорскування палива зменшується. Коли суміш занадто збіднена, обсяг впорскування палива збільшується.

Каталітичний нейтралізатор шляхом вимірювання рівня кисню у вихлопі газу, що виходить з каталітичного нейтралізатора. Якщо датчик дає високі значення напруги (рис. 3.3а), каталітичний нейтралізатор працює ефективно. Це пояснюється тим, що якщо конвертер працює належним чином, весь кисень потрапляє у вихлопні газу буде використаний під час хімічної реакції відновлення. По мірі старіння каталітичного нейтралізатора деякі шкідливі газу і кисень не буде включатися в хімічну реакцію і вийде із нейтралізатора без змін.

Таким чином, сенсор кисню після нейтралізатора все більше синхронізуватиметься з сигналом сенсора кисню до нейтралізатора, поки згодом обидва не почнуть показувати ідентичний сигнал (рис. 3.3б). Це вказує на заповнення відкладеннями чи повну несправність каталітичного нейтралізатора.



a)

б)

a – справний сенсор; *б* – справний сенсор;

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд сенсора кисню

Цирконієвий датчик показує співвідношення паливо-повітряної суміші вище або нижче $\lambda = 1$. Вихідний сигнал цирконієвого датчика видає невелику напругу від 0 В до 0,8 В. В умовах постійних змін режимів руху автомобіля (раптові прискорення або уповільнення) робота [14] з цирконієвого сенсора матиме низький відгук та значне перевищення рівня споживання палива, що веде до менш ефективної роботи каталітичного нейтралізатора (рис. 3.4).

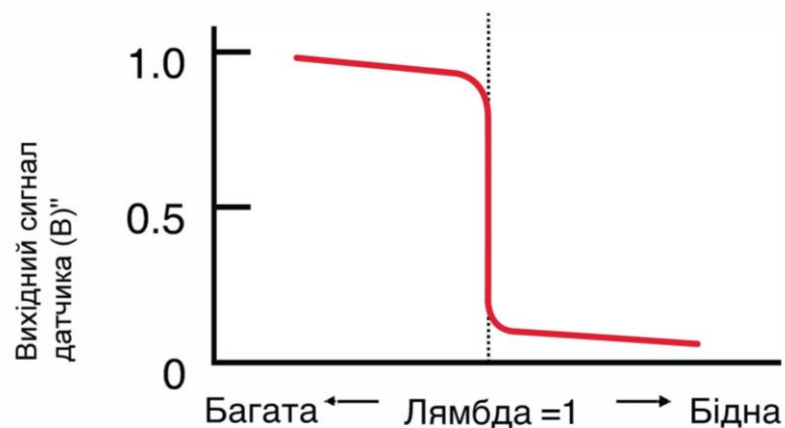


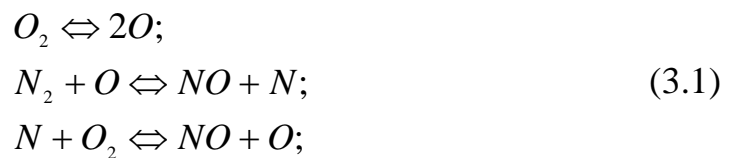
Рисунок 3.4 – Загальний вигляд сенсора кисню

Більш нові сенсори повітря/паливо (A/F) видають сигнал невеликого струму від -10 мА до +10 мА та на виході має більш стабільне значення, яке змінюється чітко пропорційно співвідношенню паливо-повітряної суміші.

3.2 Методика розрахунку утворення шкідливих сполук відносно неспаленого кисню

Формула Зельдовича виводиться в рамках теорії хімічних реакцій, зокрема для опису окислення газів у вибухах та інших хімічних процесів. Основним припущенням є те, що хімічна реакція протікає швидко і в умовах термодинамічної рівноваги. Для виведення формули Зельдовича можна розглядати окрему хімічну реакцію окислення молекули газу.

Реакції горіння в двигунах внутрішнього згорання, такі як згорання пального в двигунах, можуть бути представлені загальним рівнянням окислення [8]:



Кількість окисів азоту залежить від кількості кисню у камері згорання та у тракті випуску, де підтримується значна температура визначається з рівноваги: $rNO = rNO \cdot r_{пс}$.

Цей процес включає кілька кроків, і одним із ключових етапів є утворення оксидів азоту (NO_x). Формула Зельдовича враховує цей етап й можна визначити загальний обсяг викидів NO_x:

$$\frac{d[NO]}{dt} = A \cdot P(\varphi) \cdot e^{\frac{-3800}{T(\varphi) + T_{пс}}} \cdot \omega \cdot \frac{dQ}{d\varphi} \quad (3.2)$$

де $T(\varphi)$ – температура згорання палива;

$P(\varphi)$ – тиск в камері згорання, Па;

Тиск в камері згорання можна розрахувати:

$$P = \frac{m}{M} \cdot \frac{R \cdot T}{V}, \quad (3.3)$$

M – молярна маса паливно-повітряної суміші, кг/моль;

V – об'єм утвореного газу, м³.

$$r_{NOx} = \frac{r_{NO}}{1 - r_{H_2O}}, \quad (3.4)$$

де r_{H_2O} – частка водяної пари, що утворюється під час згорання.

$$r_{NOx}^{ex} = \frac{r_{NO}}{1 - r_{H_2O}}, \quad (3.5)$$

Тоді частка генерування оксидів азоту NO в г/кВт*год:

$$e_{NO} = \frac{30 \cdot r_{NO} \cdot M_{ПС}}{L_y \cdot \eta_M}, \quad (3.6)$$

де $M_{ПС}$ – загальна кількість вихлопних газів, к*моль;

Загальна емісія продуктів згорання становитиме:

$$M_{ПС} = a \cdot L + \frac{H}{4} + \frac{0}{32}, \quad (3.7)$$

Загальна кількість повітря L для повного згорання 1 кг бензину становитиме:

$$L = \frac{1}{0,21} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{0}{32} \right), \quad (3.8)$$

$$L = \frac{1}{0,21} \cdot \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0,004}{32} \right) = 0,49 (\text{кмоль})$$

Звідси:

$$M_{ПС} = 0,86 \cdot 0,49 + \frac{0,126}{4} + \frac{0,04}{32} = 0,46 (\text{кмоль})$$

Виконана робота становитиме:

$$L_y = k \cdot m \cdot g \cdot s + \frac{m \cdot V^2}{2}, \quad (3.9)$$

$$L_y = 0,05 \cdot 1150 \cdot 9,8 \cdot 4270 + \frac{1140 \cdot 7,68^2}{2} = 2843 (\text{кДж})$$

Рівень викидів оксидів азоту на одиницю потужності роботи двигуна:

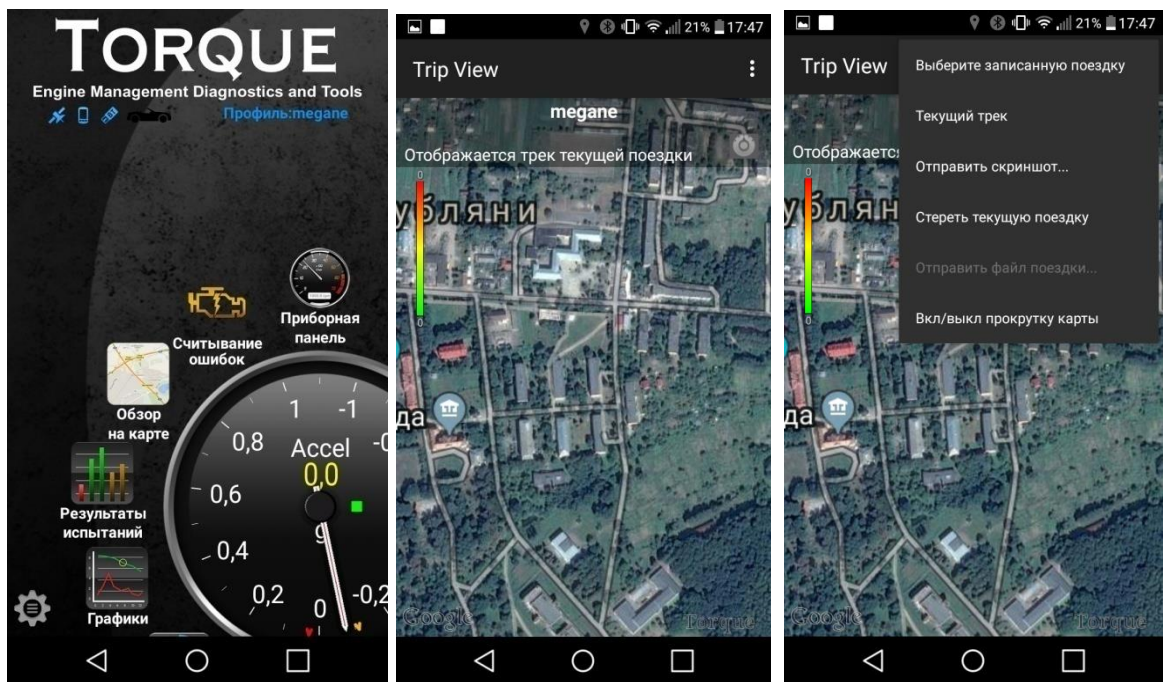
$$e_{NO} = \frac{30 \cdot 0,4 \cdot 0,46}{2843 \cdot 0,7} = 0,00135 \left(\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right)$$

Тоді як на одиницю пробігу:

$$NOx = 0,001 \cdot 134769 \cdot e^{\frac{-38000}{1000+2200}} \cdot 21,34 \cdot 10 = 0,021 \frac{кг}{моль}$$

3.3 Моніторинг викидів відпрацьованих газів під час руху автомобіля

Через значну швидкодію електронна система керування двигуном має можливість записувати покази сенсорів та датчиків, завдяки обміну даними по CAN-шині автомобіля. Це дає змогу отримувати дані про роботу різних систем автомобіля в режимі реального часу [7] (рис. 3.5). Для аналізу даних використано програму для запису показників роботи двигуна автомобіля під час руху.



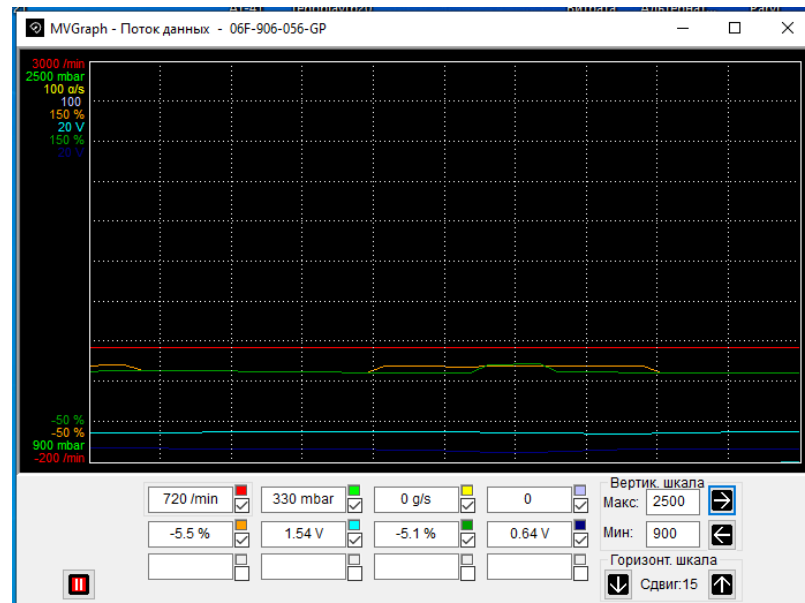
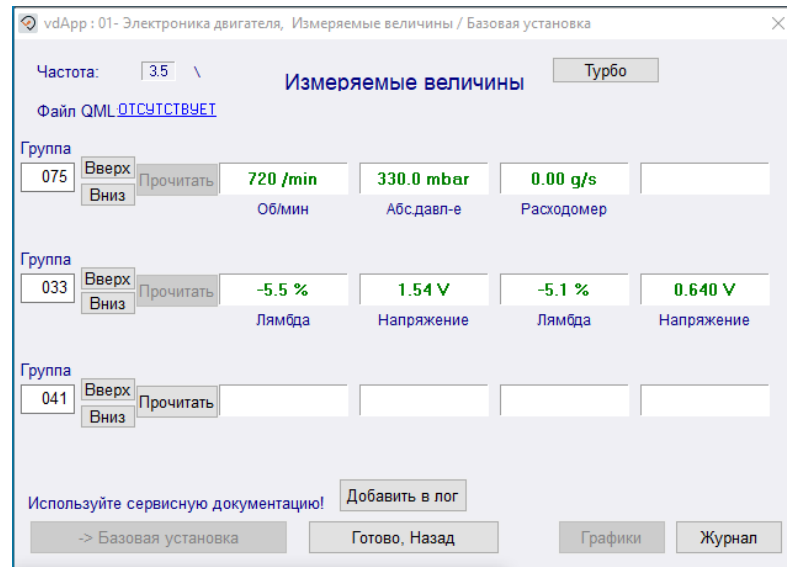


Рисунок 3.5 – Діагностична програма для моніторингу рівня викидів

Для випробування взято автомобіль Chevrolet Aveo з двигуном 1.5 л Е-ТЕС II 86 потужністю з інжекторною системою подачі газу Stag-4 PLUS (рис. 3.6)



Рисунок 3.6 - Двигун E-TEC II 86 з системою подачі газу Stag-4 PLUS

Висновки за розділом

1. У розділі наведено основні характеристики сенсорів кисню, наведено основні показники напруги залежно від співвідношення паливо-повітряної суміші. Для визначення основних параметрів роботи сенсорів кисню на різних видах палива використано автомобіль Chevrolet Aveo з двигуном 1.5 л E-TEC II 86 потужністю з інжекторною системою подачі газу Stag-4 PLUS.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати дослідження сенсора кисню на різних видах палива

Електронний блок керування двигуном (ЕБК) в сучасних автомобілях здійснює корекцію подачі палива для оптимізації роботи двигуна. Основні принципи корекції подачі палива здійснюється наступним чином. ЕБК через замкнутий контур зворотного зв'язку отримує інформацію від датчиків, таких як датчик кисню (O_2), датчик тиску в колекторі, температурний датчик тощо. Дані з цих датчиків використовуються для визначення відношення паливно-повітряної суміші, що робить роботу двигуна більш ефективною.

В залежності від умов експлуатації, таких як швидкість, оберти двигуна, тиск, температура тощо здійснюється корекція палива на основі споживання - ЕБК може коригувати подачу палива для забезпечення оптимального співвідношення повітря і пального та необхідної потужності. В разі виявлення детонації (псевдогоріння) ЕБК може скоригувати подачу палива для запобігання пошкодженням двигуна та кут випередження запалення (рис. 4.1).

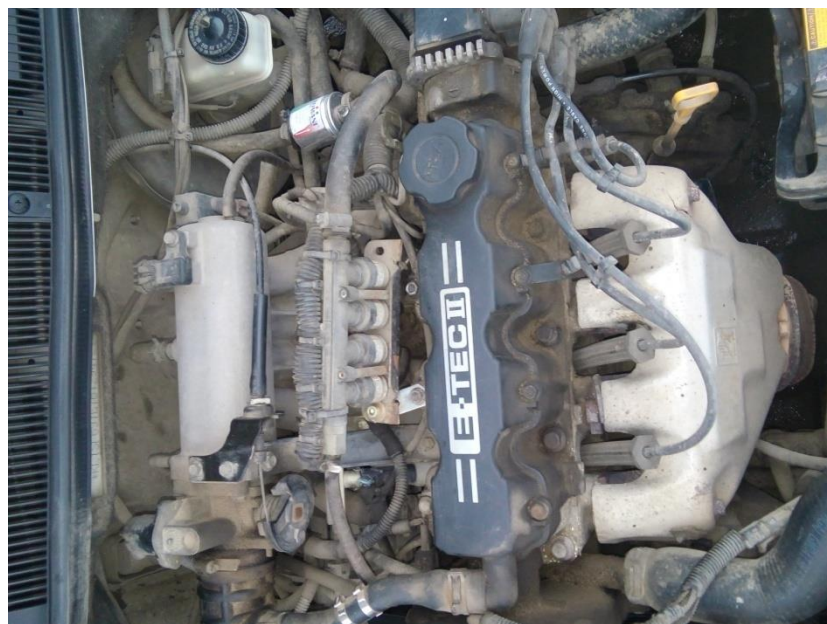




Рисунок 4.1 – Дослідження параметрів роботи автомобіля на різних видах палива

За умови роботи двигуна на різних видах палива система корекції паливоподачі може працювати по різному, особливо під час роботи на зрідженому газі. Для дослідження використано марки палива:

- традиційний бензин (А-95 PULS, ДСТУ 7687:2015);
- етиловий бензин А-95S E15 з вмістом біоетанолу 15% (за даними, отриманими експертами АвтоКонсалтинг під час експертизи палива заправних станій АВІАС);
- стиснений газ (пропан-бутан).

Дослідження параметрів роботи сенсора кисню проводилось під час руху на рівній асфальтованій дорозі на третій передачі за для обертів двигуна 1000, 2000 та 3000 об/хв. За допомогою діагностичного обладнання отримано CSV файл, який після розкодування зведено у табличну форму та проаналізовано покази сенсора кисню та корекцію паливоподачі (табл. 4.1, додаток А) [1], [14].

Таблиця 4.1 - Результати дослідження сенсора кисню (1000 об/хв)

Стиснений газ		A-95S E15		A-95 PULS	
Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)
0,506	7,129	0,726	4,077	0,719	0,061
0,506	5,159	0,726	6,009	0,719	3,077
0,506	4,102	0,726	6,051	0,719	0,082
0,506	4,066	0,726	7,072	0,719	0,031
0,506	6,135	0,726	6,063	0,719	0,059
0,506	4,167	0,726	7,058	0,719	2,070
0,506	6,007	0,726	4,053	0,719	1,035
0,506	7,010	0,726	7,028	0,719	2,082
0,506	6,155	0,726	4,098	0,719	2,038
0,506	4,155	0,726	6,013	0,719	2,073
0,506	5,070	0,726	5,007	0,719	0,002
0,506	4,085	0,717	6,060	0,719	3,004
0,506	7,104	0,717	4,013	0,719	3,032
0,535	5,040	0,758	7,097	0,691	0,000
0,535	7,017	0,758	6,004	0,691	1,045
0,535	5,177	0,758	5,007	0,691	1,075
...
0,535	7,158	0,758	5,003	0,691	3,023
0,535	7,019	0,758	5,027	0,691	0,053
0,535	6,146	0,758	7,001	0,691	2,053
0,535	6,171	0,758	5,062	0,691	0,090
0,535	6,111	0,758	5,013	0,691	2,022
0,535	5,151	0,758	4,033	0,691	2,071
0,535	5,124	0,758	7,096	0,691	0,082
0,535	5,180	0,758	7,018	0,691	2,086
0,535	7,191	0,758	5,081	0,691	2,085
0,535	6,026	0,758	4,025	0,691	0,004
0,515	5,113	0,729	6,001	0,665	1,079
$\Sigma = 0,539$	$\Sigma = 5,524$	$\Sigma = 0,758$	$\Sigma = 5,572$	$\Sigma = 0,697$	$\Sigma = 1,508$

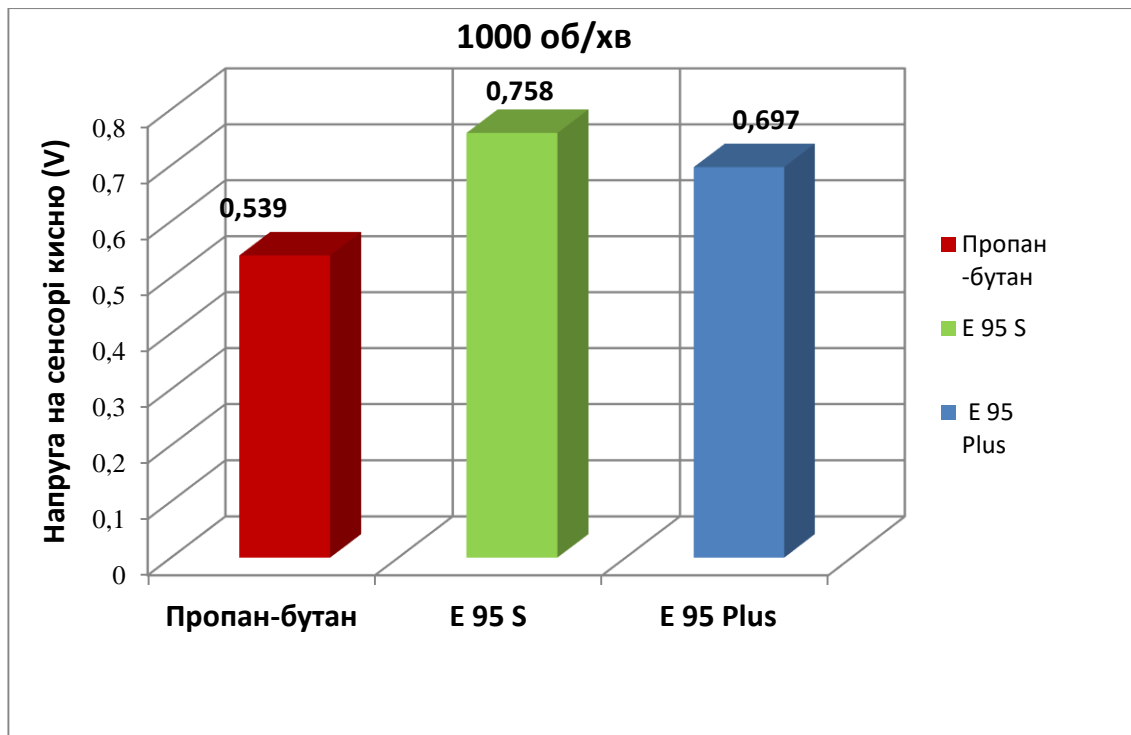


Рисунок 4.2 – Зміна напруги сенсора кисню під час обертів двигуна 1000 об/хв

Аналізуючи таблицю 4.1 та рисунок 4.2 отримано наступні результати. Під час руху на 3-тій передачі (1000 об/хв.) середня вихідна напруга із сенсора кисню знаходиться в межах:

- $V = 0,539$; корекція паливоподачі = + 5,525% (стиснений газ пропан-бутан);
- $V = 0,758$; корекція паливоподачі = + 5,572 % (етиловий бензин А-95S E15);
- $V = 0,697$; корекція паливоподачі = + 1,508 % (традиційний бензин А-95 PULS).

На наступному етапі здійснено випробування автомобіля на третій передачі, однак середня частота обертання становила 2000 об/хв. Покази сенсора кисню та корекцію паливоподачі наведено у таблиці 4.2 (додаток Б).

Таблиця 4.2 - Результати дослідження сенсора кисню (2000 об/хв)

Стиснений газ		A-95S E15		A-95 PULS	
Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)
0,589	7,329	0,749	8,127	0,628	3,044
0,589	3,283	0,749	5,103	0,628	3,028
0,589	5,002	0,749	7,122	0,628	4,106
0,589	7,284	0,749	6,125	0,628	4,290
0,589	7,109	0,749	7,283	0,628	5,058
0,589	3,269	0,749	8,130	0,628	5,257
0,589	5,193	0,749	4,212	0,697	5,094
0,589	7,446	0,749	5,274	0,697	5,027
0,589	4,350	0,749	8,195	0,697	4,066
0,589	4,206	0,738	8,059	0,687	5,200
0,589	5,279	0,738	7,271	0,687	5,122
0,589	7,411	0,738	8,278	0,687	4,081
0,589	7,121	0,738	6,244	0,687	4,182
0,556	6,052	0,696	7,226	0,648	5,233
0,556	6,413	0,696	5,153	0,648	6,244
0,566	4,382	0,709	4,263	0,660	4,016
0,566	7,270	0,709	4,229	0,660	4,219
...
0,566	4,252	0,709	7,106	0,660	5,064
0,566	6,139	0,709	6,360	0,660	5,274
0,566	5,041	0,709	6,109	0,660	4,066
0,566	4,344	0,709	5,184	0,660	5,041
0,566	3,106	0,709	8,387	0,660	4,182
0,566	4,322	0,709	7,141	0,660	5,126
0,566	7,221	0,709	7,199	0,660	5,043
0,566	3,020	0,709	8,279	0,660	3,089
0,566	4,012	0,709	7,272	0,660	4,092
0,566	4,048	0,709	5,219	0,660	6,284
0,566	6,298	0,709	6,107	0,660	3,103
0,566	7,204	0,709	4,278	0,660	3,116
0,566	7,074	0,709	8,087	0,660	3,229
0,566	3,199	0,709	8,039	0,660	3,041
0,566	3,294	0,709	6,238	0,660	5,164
0,545	3,285	0,682	5,199	0,635	6,038
$\Sigma = 0,571$	$\Sigma = 5,102$	$\Sigma = 0,716$	$\Sigma = 6,159$	$\Sigma = 0,663$	$\Sigma = 4,545$

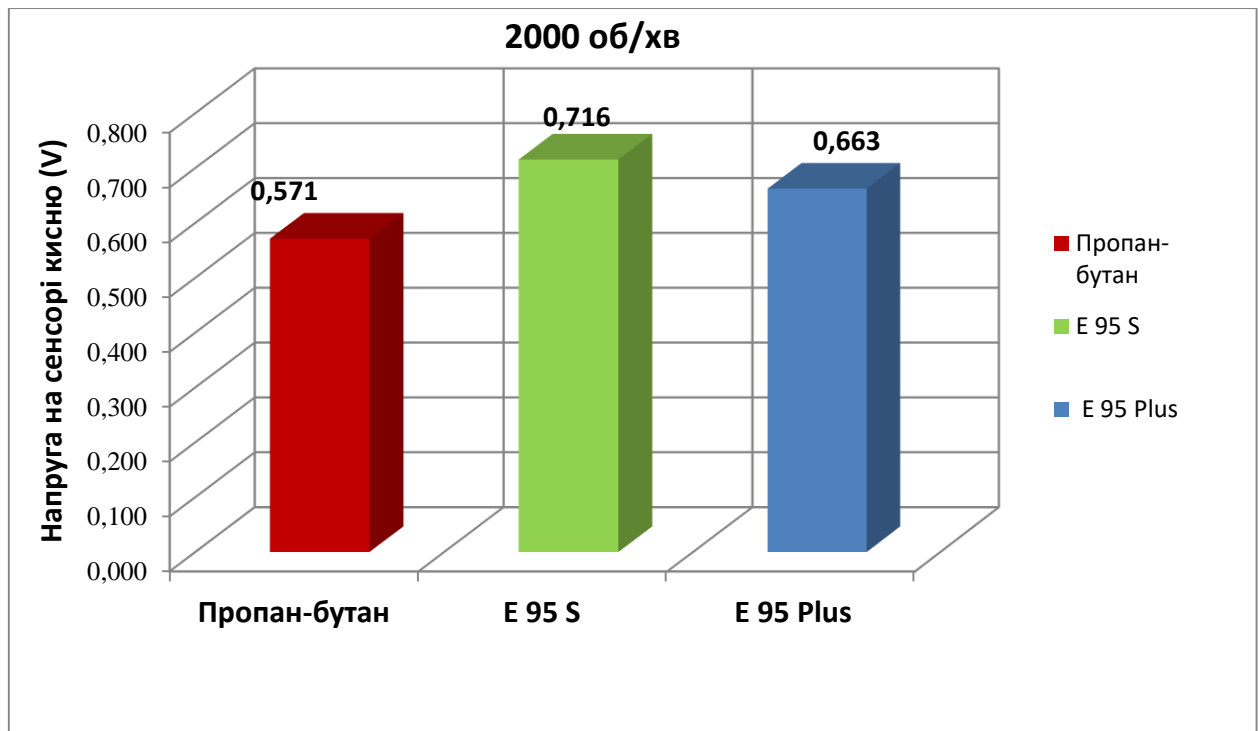


Рисунок 4.3 – Зміна напруги сенсора кисню під час обертів двигуна
2000 об/хв

Аналізуючи таблицю 4.2 та рисунок 4.3 отримано наступні результати. Під час руху на 3-тій передачі (2000 об/хв.) середня вихідна напруга із сенсора кисню знаходиться в межах:

- $V = 0,571$; корекція паливоподачі = + 5,102 % (стиснений газ пропан-бутан);
- $V = 0,716$; корекція паливоподачі = + 6,159 % (етиловий бензин А-95S E15);
- $V = 0,663$; корекція паливоподачі = + 4,545 % (традиційний бензин А-95 PULS).

На наступному етапі здійснено випробування автомобіля на третій передачі, однак середня частота обертання становила 3000 об/хв. Покази сенсора кисню та корекцію паливоподачі наведено у таблиці 4.3 (додаток В).

Таблиця 4.3 - Результати дослідження сенсора кисню (3000 об/хв)

Стиснений газ		A-95S E15		A-95 PULS	
Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)
0,492	6,086	0,586	8,341	0,635	6,406
0,492	8,075	0,586	6,496	0,635	5,472
0,492	6,375	0,586	5,418	0,635	5,009
0,492	7,173	0,586	6,107	0,636	2,016
0,492	8,184	0,586	7,121	0,636	3,390
0,492	6,330	0,586	6,510	0,636	5,462
0,557	7,507	0,645	8,414	0,707	3,241
0,557	5,123	0,645	6,122	0,707	6,518
0,557	8,432	0,645	5,408	0,707	4,391
0,557	6,475	0,645	8,539	0,696	4,177
0,557	7,452	0,645	8,219	0,696	2,517
0,548	6,195	0,645	6,199	0,696	4,127
0,548	5,029	0,645	6,059	0,696	3,338
0,512	7,081	0,645	7,462	0,657	3,141
0,512	8,070	0,645	7,193	0,657	5,059
0,512	7,120	0,645	5,226	0,657	4,446
0,512	7,467	0,600	7,041	0,653	4,442
0,508	4,207	0,596	7,129	0,653	6,119
0,508	8,036	0,596	5,432	0,653	3,445
0,508	5,295	0,596	5,549	0,657	4,125
0,523	5,463	0,623	6,136	0,669	6,303
...
0,523	5,319	0,611	7,494	0,669	6,162
0,523	7,223	0,607	6,234	0,669	3,179
0,519	7,035	0,607	8,085	0,669	2,152
0,519	8,167	0,607	5,251	0,669	2,378
0,519	8,445	0,607	6,385	0,669	6,406
0,519	6,390	0,607	7,130	0,669	5,039
0,519	4,365	0,607	5,447	0,669	6,536
0,519	8,281	0,607	5,546	0,669	4,492
0,523	4,175	0,611	6,341	0,669	3,129
0,523	6,161	0,611	8,241	0,669	4,237
0,522	6,232	0,610	5,076	0,669	6,049
0,522	8,381	0,610	8,198	0,644	4,362
$\Sigma = 0,524$	$\Sigma = 6,352$	$\Sigma = 0,612$	$\Sigma = 6,689$	$\Sigma = 0,672$	$\Sigma = 4,394$

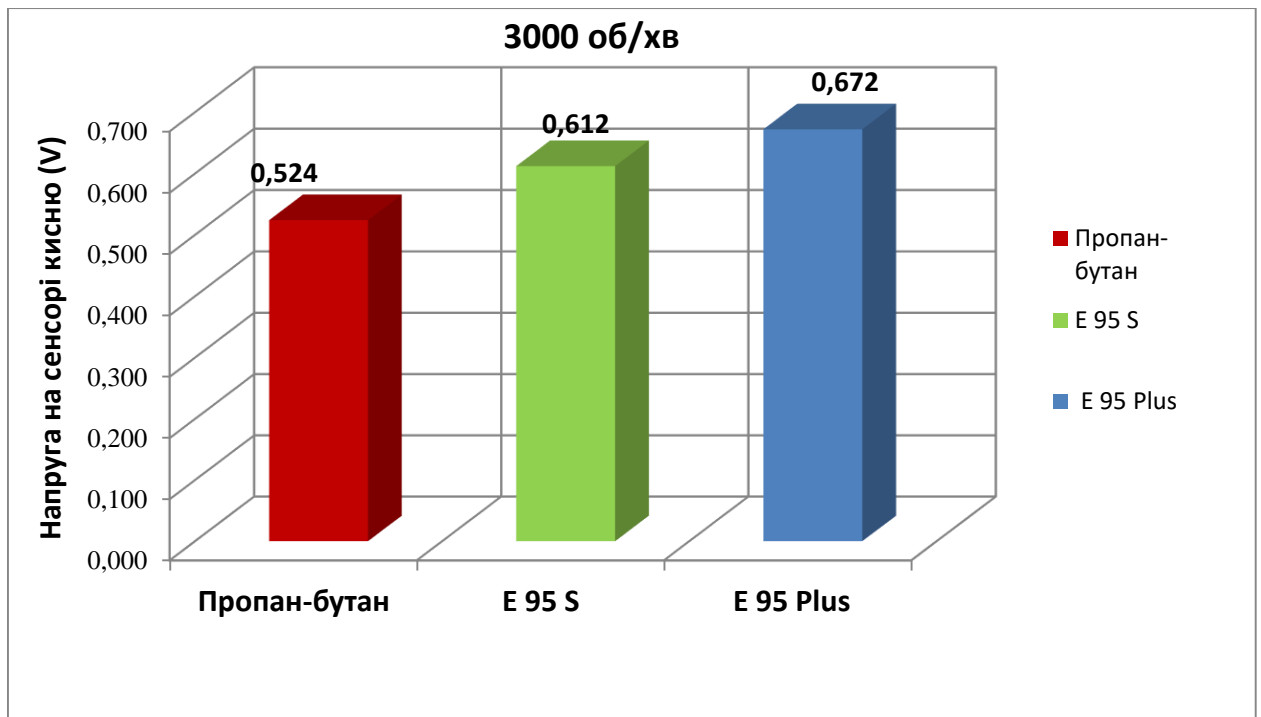


Рисунок 4.4 – Зміна напруги сенсора кисню під час обертів двигуна 3000 об/хв

Аналізуючи таблицю 4.3 та рисунок 4.4 отримано наступні результати. Під час руху на 3-тій передачі (3000 об/хв.) середня вихідна напруга із сенсора кисню знаходиться в межах:

- $V = 0,524$; корекція паливоподачі = + 6,352 % (стиснений газ пропан-бутан);
- $V = 0,612$; корекція паливоподачі = + 6,689 % (етиловий бензин А-95S E15);
- $V = 0,672$; корекція паливоподачі = + 4,94 % (традиційний бензин А-95 PULS).

Висновки за розділом

1. У розділі наведено результати дослідження роботи сенсора кисню та корекції паливоподачі під час руху на 3-тій передачі.

Середня вихідна напруга із сенсора кисню (1000 об/хв.): $V = 0,539$; корекція паливоподачі = + 5,525% (стиснений газ пропан-бутан); $V = 0,758$;

корекція паливоподачі = + 5,572 % (етиловий бензин А-95S Е15); V = 0,697;

корекція паливоподачі = + 1,508 % (традиційний бензин А-95 PULS).

Середня вихідна напруга із сенсора кисню (2000 об/хв.): V = 0,571;

корекція паливоподачі = + 5,102 % (стиснений газ пропан-бутан); V = 0,716;

корекція паливоподачі = + 6,159 % (етиловий бензин А-95S Е15); V = 0,663;

корекція паливоподачі = + 4,545 % (традиційний бензин А-95 PULS).

Середня вихідна напруга із сенсора кисню (3000 об/хв.): V = 0,524;

корекція паливоподачі = + 6,352 % (стиснений газ пропан-бутан); V = 0,612;

корекція паливоподачі = + 6,689 % (етиловий бензин А-95S Е15); V = 0,672;

корекція паливоподачі = + 4,94 % (традиційний бензин А-95 PULS).

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Організація заходів охорони праці

Згідно з законом України «Про охорону праці» і кодексом законів про працю (КзНП), забезпечення здорових і безпечних умов праці для всіх працівників покладається на адміністрацію підприємства – директора, його заступників, головних спеціалістів, керівників, структурних підрозділів.

Адміністрація підприємства повинна суворо дотримуватись встановлених правил і норм з охорони праці, техніки безпеки, виробничої санітарії, добиватись неухильного виконання всіма працівниками вказаних вимог [9], [15], [25].

З метою забезпечення для працівників регулярно (не рідше 1 разу на місяць) проводиться інструктаж на робочому місці. В обов'язковому порядку вказаний інструктаж проводиться при нещасних випадках на виробництві, а також керівниками підрозділу.

Важливе місце в навчанні і пропаганді охорони праці займає наочна агітація (стенди, плакати, планшети тощо). Фінансування запланованих заходів з охорони праці здійснюється з розрахунку 2-3% від фонду заробітної плати робітників.

Контроль за станом охорони праці здійснюється трьох ступінчасто бригадир – майстер – начальник підрозділу. Особи, винні в порушеннях заходів з охорони праці несуть відповідальність у встановленому порядку [9], [15], [25].

На дільницях з діагностики та ремонту автомобілів можуть мати місце певні шкідливі та небезпечні фактори:

- падіння деталей з висоти, агрегатів, інструментів;
- термічні фактори (пожежі при зливанні паливо мастильних матеріалів з двигунів, митті ними деталей, зберіганні та залишенні їх на робочих місцях);

- осколки металу, що відлітають при випрямовуванні та запресовуванні шворнів, пальців, підшипників, валів, висей;
- знижена температура повітря у холодний період року;
- недостатнє освітлення;
- нагріті до високої температури деталі двигунів;
- наявність у повітрі робочих місць шкідливих речовин (пари пального, мийних розчинів тощо);
- можливе ураження електричним струмом.

1. Загальні вимоги безпеки.

1.1 До проведення технічного обслуговування, ТР і КР автомобілів, агрегатів, причіпного рухливого складу допускаються особи, навчені за професією слюсаря по ремонту транспортних засобів, водіїв автотранспортних засобів, що пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктаж.

1.2 Відповідно до роботи, що виконується, у зоні роботи піднімальних механізмів і цехах АРМ слюсар зобов'язаний: користатися необхідними засобами індивідуального захисту і справними інструментами.

1.3 ТО і ремонт автомобілів, агрегатів виконується відповідно до діючих положень про технічне обслуговування і ремонт автомобільного транспорту.

1.4 Слюсар по ремонту транспортних засобів повинен виконувати доручений вид роботи, що зазначений в наряді.

1.5 При переході з однієї роботи на іншу з використанням нового обладнання, слюсар зобов'язаний ознайомитися з конструкцією, методами безпечної роботи й одержати конкретне завдання, розписатися в журналі видачі змінних завдань.

1.6 Слюсар зобов'язаний утримувати в чистоті і порядку робоче місце, деталі і вузли, не захарашувати проходи і проїзди.

1.7 При виявленні несправності, відмови устаткування повідомити безпосередньому керівнику.

1.8 Працівник забезпечується засобами індивідуального захисту відповідно до типових галузевих норм безкоштовної видачі спецодягу, взуття, запобіжних пристосувань, інструментом.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи.

2.1 Слюсар зобов'язаний пройти профілактичний огляд, надягти чистий

справний спецодяг, одержати завдання, пройти інструктаж і розписатися в журналі видачі завдань.

2.2 Перевірити наявність і справність необхідного устаткування, інструмента і пристосувань.

2.3 Підготувати робоче місце до виконання роботи, забрати предмети, що заважають, вузли й агрегати.

2.4 Переконатися в справності піднімального механізму.

2.5 Перевірити справність освітлювальних приладів (переносної лампи).

3. Вимоги безпеки під час роботи.

3.1 При постановці автомобіля на ремонт чи обслуговування, автомобіль необхідно поставити на ручне гальмо, заглушити двигун, ввімкнути знижену передачу, перекрити подачу палива (для дизеля), при ремонті на площадці підкласти під колеса не менш двох упорів (башмаків).

3.2 Після постановки автомобіля на ремонт необхідно вивісити на кермо табличку «Двигун не запускати - працюють люди».

3.3 При ремонті й обслуговуванні автомобілів на електромеханічному підйомнику на пульт керування вивісити табличку «Не включати – працюють люди».

3.4 При ремонті й обслуговуванні зафіксувати підйомник в робочому (піднятому) положенні запобіжними упорами (штангами).

3.5 Злив мастила, охолоджуючої і гальмівної рідини робити в спеціальну тару.

3.6 Місця розливу мастила, охолоджуючої рідини, гальмівної рідини засипати піском, тирсою, ретельно прибрати і протерти місце розливу.

3.7 При знятті на оглядових канавах і площадках задніх і передніх мостів, ресор, коліс – варто попередньо підставити під раму автомобіля козельки, а під колеса не менш двох упорів (башмаків).

3.8 Усі ремонтні й оглядові роботи при піднятому кузові автомобіля – самоскида проводити після попередньої установки під піднятий кузов додаткового упора.

3.9 При роботах, зв'язаних із повертанням колінчатого вала, необхідно додатково перевірити відключення запалювання, подачу палива (для дизелів) і установку важеля перемикачів передач у нейтральне положення.

3.10 Гайкові ключі повинні підбиратися відповідно розмірам гайок і болтів. Губки ключів повинні бути строго рівнобіжні і не мати тріщин і забоїв, а рукоятки – здирків.

3.11 Розсувні ключі не повинні бути ослаблені в рухливих частинах.

3.12 Ударні інструменти (зубила, крайцмейсели, просічки, борідки, керни) не повинні мати тріщин, задирок, наклепу. Для запобігання ушкодження рук, на зубило надягають запобіжну шайбу. Кувалди, молотки повинні мати бойки з гладкою злегка опуклою поверхнею, не косою, не збитою, без відколів, вибоїв і тріщин, здирків. Для запобігання травмування рук довжина інструмента не повинна бути менш 150 мм.

3.13 При різальних роботах користатися ручною пилкою-ножівкою зі справною рукояткою, ножівковими полотнами, що не мають надламів і тріщин.

3.14 Користатися викрутками, леза яких повинні бути відтягнуті і розплющені до товщини, необхідної для входження їх без зазору в проріз голівки гвинта чи шурупа.

3.15 Гострогубці не повинні мати надщерблених рукояток, тріщин і здирків.

Забороняється:

3.16 Приступати до роботи і технічного обслуговування без відмітки про профілактичний огляд, одержання завдання й інструктажу з ТБ.

3.17 Користуватися при виконанні робіт не справними ЗІЗ, устаткуванням, інструментом і пристосуваннями.

3.18 Застосовувати для миття вузлів, деталей, агрегатів – бензин, дизельне паливо.

3.19 Проводити ремонт при працюючому двигуні.

3.20 Працювати на підйомниках без додаткових страхувальних упорів.

3.21 Робити без застосування підйомно-транспортних механізмів, спеціальних

захватів трьохсторонніх ременів – зняття й установку агрегатів, вузлів масою більш 20 кг.

4. В аварійних ситуаціях

4.1. Припинити роботу, прийняти заходи по попередженню травматизму, не допускати людей в небезпечну зону.

4.2. Повідомити керівника робіт про те, що сталося.

4.3. Якщо є потерпілі надати їм першу медичну допомогу; при необхідності викликати "Швидку допомогу".

4.4. При виникненні пожежі, проводити й гасіння наявними засобами пожежогасіння, при необхідності викликати пожежну частину.

4.5. Виконувати вказівки керівника робіт по усуненню аварійної ситуації.

5. Після закінчення

5.1. Прибрати робоче місце. Інструмент, пристрої протерти та скласти на відведеному для них місці.

5.2. Перевірити надійність встановлення автомобіля на підставках. Залишати автомобіль, піднятий домкратом не дозволяється.

5.3. Повідомити керівника робіт про всі порушення та недоліки, які були виявлені під час роботи.

5.4. Зняти спецодяг, вимити руки та обличчя теплою водою з милом, при можливості прийняти душ. Мити руки мастилом, бензином, гасом не дозволяється.

5.2 Техніка безпеки при виконанні ремонтних робіт

Основною і обов'язковою умовою запобігання нещасним випадкам є добре знання правил техніки безпеки і будови автомобіля та іншого обладнання [9], [15], [25].

Персонал, який виконує технічне обслуговування із застосуванням пересувних агрегатів, повинен добре знати будову пристроїв, мати відповідний спецодяг, спецвзуття і необхідні захисні пристрої відповідно до діючих норм.

До роботи на пересувних агрегатах технічного обслуговування допускають працівників, які мають кваліфікацію майстра-наладчика, свідоцтво на право керування автомобілем, проінструктованих з техніки безпеки і протипожежених заходів. Для проведення технічного обслуговування і ремонту вибирають найбільш безпечно і зручне місце. При встановленні агрегату його треба загальмувати.

Якщо в агрегаті є система підігрівання нафтопродуктів і води, то під час його експлуатації забороняється: застосовувати як паливо для підігрівання відпрацьовані масла з домішкою бензину; перебувати напроти отвору у кришці підігрівника; провадити тривалу подачу палива у підігрівник при відсутності спалаху після дво-, триразової спроби запалювання без попереднього продування, а також нагрівати воду до кипіння.

Треба дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з нафтопродуктами. Не можна засмоктувати паливо у шланг ротом, оскільки певна його кількість може попасти у шлунок людини, що спричиняє гострі отруєння. Слід уникати тривалого впливу бензину, дизельного, палива і масел на шкіру.

Працюючи з маслами, необхідно користуватися спецодягом. Після закінчення роботи слід мити руки теплою водою з милом.

При виконанні технічного обслуговування на стаціонарному посту треба заглушити двигун, установити важіль переключення передач у нейтральне положення, затягнути стоянкове гальмо. Заборонено користуватися відкритим вогнем при перевірці рівня масла і заправці паливом.

Під час зливання гарячої води з радіатора і масла з картерів двигуна, підсилювача крупного моменту, коробки передач, заднього моста, кінцевих передач і ВВП, треба уникати опіків.

Відкриваючи кришку водяного радіатора, попередньо треба дочекатися деякого охолодження рідини, а знімаючи кришку, обличчя треба відвернути від заливної горловини. При обслуговуванні акумуляторних батарей слід пам'ятати, що лити воду в кислоту категорично забороняється. Не можна користуватися також відкритим вогнем при перевірці рівня електроліту в акумуляторних батареях. Треба уникати дотику навантажувальною вилкою при перевірці забрудненості акумуляторної батареї, опору, що нагрівається, скільки це може призвести до опіку.

При натягуванні паса вентилятора працюючий двигун треба зупинити. Не можна застосовувати відкритий вогонь для підігрівання двигуна, паливного бака і паливопроводів. Запускаючи пусковий двигун шнуром, не можна намотувати шнур на руку і стояти проти маховика пускача.

При виконанні діагностичних операцій треба переконатися, що важіль коробки передач і рукоятки розподільника гідросистеми перебувають у нейтральному положенні.

Під час контрольної діагностики і регулювання за допомогою пересувних або стаціонарних діагностичних установок, треба дотримувати таких заходів безпеки: забезпечувати електробезпеку під час роботи з електричними і електронними приладами, що живляться від електромережі; при ручному прокручуванні знімати із свічки пускового двигуна провід

високої напруги; знімати і установлювати форсунки слід при непрацюючому двигуні; перевіряти форсунки на тиск впорскування після надійного їх закріплення на приладі і не допускати при цьому розпилення палива в атмосферу, потрапляння його на відкриті частини тіла; не перебувати і не провадити будь-яких робіт всередині або поблизу пересувної діагностичної установки при працюючому її двигуні; треба забезпечити повну узгодженість дій між трактористом-машиністом і майстром-діагностом при виконанні ними перевірно-діагностичних операцій; силовий рукав приладу при перевірці усіх видів насосів гідросистеми опускають у заливну горловину бака гідросистеми нижче від рівня масла, щоб уникнути його спінювання і розбризкування; установлюючи суворо по осі вала приставний тахометр для вимірювання швидкості обертання вала, треба уникати дотику до незахищених обертових деталей.

Електричний струм, при недотриманні правил і заходів безпеки, може справляти на людей небезпечну і шкідливу дію, яка проявляється у вигляді електротравм, електроударів та професійних захворювань.

Ступінь небезпеки та шкідлива дія електричного струму на людину залежить від її індивідуальних особливостей, електричного опору тіла, величини напруги і струму, шляху струму через тіло і ін.

Електроустановки повинні відповідати вимогам «Правил будови електроустановок», «Правил технічної експлуатації електроустановок і споживачів».

Електрична безпека повинна забезпечуватися конструкцією електроустановок, технічними способами і засобами захисту, організаційними і технічними заходами.

До технічних заходів і засобів відносяться: захисні заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, використання малої напруги, електричне розділення мереж, захисне відключення, ізоляція струмоведучих частин, обмежувальні пристрої, запобіжні пристрої, а також застережна сигналізація.

Для даної ділянки пропонується застосувати заземлення з глухо заземленою нейтрально (величина опору менше 4 Ом).

При використанні електричних двигунів, інших електричних установок, електроінструментів і пристроїв необхідно виконувати вказівки інструкції щодо їх використання.

До роботи з ручними електричними машинами допускаються робітники, які пройшли виробниче навчання і мають кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Перед початком роботи з електроінструментом необхідно перевірити його справність.

Електричні та пневматичні інструменти дозволяється видавати особам, які пройшли інструктаж та знають правила поводження з ними.

Перед тим, як користуватися переносними світильниками необхідно перевірити наявність на лампі захисного скляного ковпака, захисної сітки і справність кабелю.

Обслуговування і ремонт електроустановок без допуску на вказаних робіт забороняється [9].

5.3 Розрахунок системи освітлення

Для освітлення робочих місць проектованої ділянки застосовуються природне і штучне освітлення.

Природне і штучне освітлення визначається розрядами і під розрядами зорових робіт, що виконуються на робочих місцях (зовнішній вигляд виробів, точність обробки, розмір і контраст об'єкта розрізнення, застосований вимірювальний інструмент і прилади, характеристика фону).

Для проектованої ділянки приймаємо розряд IV а зорових робіт [25].

Загальне освітлення розраховують в основному за методом коефіцієнта світлового потоку:

$$F = E \cdot F_n \cdot k \cdot Z / (\eta \cdot n \cdot 10) , \quad (5.1)$$

де E - норма освітлення, лк. Для дільниці $E=300$ лк;

F_n - площа приміщення, м²; $F_n=108$ м²;

k - коефіцієнт запасу, $k=1,3\dots1,5$ (менш значення для ламп розжарювання, більші – для газорозрядних ламп);

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення; $Z = 1,1 \dots 1,5$;

η - коефіцієнт використання освітлювальної установки;

n - кількість ламп.

Для визначення коефіцієнта η розраховують індекс приміщення:

$$i = a \cdot b / [H_c (a + b)], \quad (5.2)$$

де a та b - довжина та ширина приміщення на кресленні, м;

H_c – висота розташування світильника над освітлювальною поверхнею, м.

Висота розташування світильника менша або дорівнює висоті приміщення $H_c = 6$ м

$$i = 8,7 \cdot 5,96 / 6(8,7 + 5,96) = 0,59$$

При однаковому коефіцієнті відображення стелі і стін, що дорівнює 0,7, коефіцієнт η залежно від i має такі значення:

Таблиця 5.1 - Індекс приміщення

Індекс приміщення i	0,5	1	2	3	4	5
Коефіцієнт використання η	0,22	0,37	0,48	0,54	0,59	0,61

Приймаємо $\eta=0,59$

Мета розрахунків – визначити потрібну кількість ламп за формулою:

$$n = E \cdot F_n \cdot k \cdot z / (F \cdot \eta \cdot 10), \quad (5.3)$$

де F - світловий потік створений однією лампою [14].

Приймаємо люмінесцентну лампу ЛБЦ-40, в якій $F=2100$ лм.

$$n = 300 \cdot 45,15 \cdot 1,5 \cdot 1,5 / 2100 \cdot 0,59 \cdot 10 = 2,56 \approx 3$$

Приймаємо $n=3$ лампи.

Розрахунок природного освітлення

Результатом розрахунку природного освітлення є визначення площ світлових прорізів бокового чи верхнього освітлення.

У проекті визначається площа світлових прорізів при боковому освітленні:

$$S_o = F_n \cdot e_n \cdot k_z \cdot \eta_o \cdot k_{\delta o} / (100 \cdot \tau_o \cdot r_1), \quad (5.4)$$

де F_n - площа підлоги приміщення, м²;

k_z - коефіцієнт запасу ; $k_z = 1,4 \dots 1,5$ (менше значення для приміщень з меншою запиленістю);

η_o - світлова характеристика вікон;

$k_{\delta o}$ - коефіцієнт урахування затінення будинками, що навпроти;

τ - загальний коефіцієнт; $\tau_o = 0,63$;

r_1 - коефіцієнт урахування підвищення освітленості при боковому освітленні; $r_1 = 1,05 \dots 1,3$;

e_n - нормоване значення коефіцієнта природної освітленості;

вибирається, виходячи з розряду зорової роботи IVa і боковому освітленні і має такі значення;

В нашому випадку $e_n = 0,9$

$$S_o = 45,15 \cdot 0,9 \cdot 1,4 \cdot 1,5 \cdot 1,0 / (100 \cdot 0,63 \cdot 1,3) = 10,42 \text{ м}^2$$

Приймаємо розміри вікон $b \times h = 2 \times 2$

Визначаємо площу вікна $F_v = 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}^2$

Визначаємо кількість вікон $m = 10,42 / 4 = 2,605$

Приймаємо 3 вікон.

У дільниці фактично 6 вікон, тому природне освітлення достатнє.

5.4 Розрахунок вентиляції

Норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень, гранично допустимі концентрації

шкідливих речовин в повітрі робочої зони необхідно приймати, в залежності від категорії важкості робіт, які виконуються на дільниці.

Категорія робіт – середньої важкості (ІІа)

Тепловиділення незначні

Волого виділення відсутні.

Розрізняють два види вентиляції: механічну (примусову) і аераційну (природну).

Механічну вентиляцію обов'язково використовують на постах, зонах або дільницях, де технологічно передбачено проїзд або заїзд автомобілів, що спричиняє викиди токсичних шкідливих речовин, а також в приміщеннях, де є викиди токсичних шкідливих речовин внаслідок виконуваних в них технологічних процесів. Механічну вентиляцію використовують також у приміщеннях в тих випадках, коли об'єм повітря, який припадає на одного працюючого, менше за 40м^3 . Для інших випадків передбачається тільки природна вентиляція.

За нормами промислового виробництва всі приміщення повинні мати наскрізне провітрювання через кватирки площею 2...4% від площі приміщення.

Необхідна площа вентиляційних отворів:

$$F_{\phi} = 0,03 \cdot F_n, \text{м}^2 \quad (5.5)$$

тоді,

$$F_{\phi} = 0.03 \cdot 45,15 = 1,35 \text{м}^2$$

Площа кватирки з розрахунку на одне вікно:

$$F'_{\phi} = \frac{F_{\phi}}{n} \text{м}^2, \quad (5.6)$$

де $n=3$ – число вікон.

$$F'_{\phi} = \frac{1,35}{3} = 0,45 \text{м}^2$$

В приміщенні проекрованої дільниці внаслідок виконуваних в ній технологічних процесів відбувається виділення шкідливих речовин в

повітря – пального (парів) та мийних розчинів, тощо. Тому влаштування механічної вентиляції в проєктованій дільниці є необхідним.

Необхідна величина повітрообміну:

$$V_B = V_{II} \cdot K_{кр}, \quad (5.7)$$

де V_{II} - об'єм приміщення дільниці

$$V_{II} = F_n \cdot H_o = 45,15 \cdot 6 = 270,9 \text{ м}^3$$

де $H_o = 4,2 \text{ м}$ – висота приміщення (п.3.6)

$K_{кр}$ - необхідна годинна кратність повітрообміну.

Згідно для дільниці з ремонту двигунів $K_{кр} = 3$.

$$V_B = 270,9 \cdot 3 = 812,7 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Приймаємо вентилятор:

- відцентровий, серії ЭВР-2; [28].
- продуктивність - $\alpha_B = 1400 \text{ м}^3 / \text{год}$ [28].
- тиск, який розвивається $U_B = 90 \text{ кг} / \text{м}^3$ [28].
- коефіцієнт корисної дії $\eta_B = 0,54$ [28].

Потужність електродвигуна, необхідна для приводу вентилятора, визначається так:

$$N_e = (1.2 \dots 1.5) \frac{L_e \cdot U_B}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot \eta_n}, \quad (5.8)$$

де η_n - коефіцієнт корисної дії приводу. Для безпосереднього з'єднання.

$$\eta_n = 1,0$$

$$N_e = 1.5 \frac{1400 \cdot 90}{3600 \cdot 102 \cdot 0.59 \cdot 1.0} = 0.95 \text{ кВт}$$

Приймаємо електродвигун серії: потужністю $N_e = 1,1 \text{ кВт}$

Крім загальної вентиляції, для видалення шкідливих речовин безпосередньо з місця їх утворення (виділення) використовуються електричні місцеві вентилятори.

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Порівняльна оцінка використання альтернативних видів палива для бензинових двигунів

На сьогодні існує постійно зростаюча потреба в ефективному управлінні ресурсами автотранспортних підприємств, що сприяє не тільки їх економічній стійкості, але й активному розвитку та збільшенню доходів держави через фіскальні відрахування та інвестиції. Визначальним показником ефективності для будь-якого підприємства є прибуток, від комерційної діяльності [11], [21], [27]. Тому накопичення більшого обсягу прибутку за рахунок зниження використання ресурсів або ж їх вартості – оптимальний напрям розвитку підприємства.. Економне використання ресурсів впливає на собівартість продукції (в даному випадку перевезення) через зниження її фондомісткості, матеріаломісткості і трудомісткості, а значить і збільшує прибутковість підприємства. Одним з напрямів зниження вартості транспортних послуг є перехід на альтернативні, більш дешеві види палива, тим більше, що в даній ситуації спостерігається не тільки економічний але й екологічний ефект [21].

Зацікавленість в альтернативних видах палива пов'язана зі збільшенням екологічних проблем, що виникають в результаті експлуатації автомобілів. Серед традиційних викопних палив для двигунів внутрішнього згорання найбільш широкого застосування отримав стиснений природний газ (СПГ). Це газ природного походження, отриманий зрідженням його в установках компресорного типу. На сьогодні такий тип палива є найбільш дешевою і екологічною заміною традиційних видів палива [2].

Для того, щоб використовувати газове паливо, необхідно переобладнати автомобіль встановивши газобалонне обладнання (ГБО) - дозуючу систему, яка інтегрується до існуючої системи живлення. Це дає змогу повноцінно використовувати автомобіль на двох видах палива.

До складу системи ГБО входять:

1. газовий балон, що забезпечує зберігання СПГ;
2. перемикач;
3. редуктор-випарник;
4. електромагнітний клапан;
5. електромагнітний клапан (для карбюраторних двигунів)
6. заправний пристрій;
7. мультиклапан.

До основних переваг використання ГБО відносять:

- витрати газового палива порівняно з бензином майже однакова;
- октанове число у газового палива 105, що зменшує навантаження на шатунно-поршневу групу двигуна;
- більш чисте паливо, без домішок важких негорючих фракцій, що знижує нагар на свічках та клапанах двигуна;
- збільшується термін експлуатації двигуна;
- необхідна рідша заміна мастила, а його якість є кращою;
- під час спалювання газу утворюється значно менше вуглекислого газу в порівнянні з традиційним бензиновим.

Основними недоліками використання ГБО є:

- висока ціна сучасного комплексу ГБО, його встановлення та реєстрація;
- підвищена небезпека для водія та інших учасників дорожнього руху;
- зменшення корисного об'єму багажника (пов'язано з розташуванням в ньому газового балона);
- необхідна часта заміна фільтра, оскільки його забруднення веде до збільшення витрати газу;
- не значний пробіг на одній заправці паливом;
- менша кількість заправних станцій з газовим паливом.

Розрахунок економічної ефективності проводять шляхом порівняння техніко-економічних показників роботи удосконаленого двигуна та базового.

Розрахунок річного економічного ефекту від експлуатації автомобіля з на різних видах палива розраховується за формулою:

$$E_p = ((Z_3^a - Z_3^b) \cdot P_n, \text{ грн.}, \quad (6.1)$$

де Z_3^a, Z_3^b – відповідні зведені затрати на 1 кілометр пробігу під час експлуатації автомобіля на альтернативному та базовому паливі;

P_n – пробіг автомобіля протягом звітного року, км.

Тоді загальні приведені експлуатаційні витрати $\Pi_в$, що пов'язані експлуатацією автомобіля визначаються:

$$\Pi_в = Z_{нмм} + Z_{оп} + Z_{рен} + Z_{ТОР}, \quad (6.2)$$

де $Z_{нмм}$ – питомі експлуатаційні затрати на паливо-мастильні матеріали та інші експлуатаційні матеріали, грн/км;

$Z_{оп}$ – питомі експлуатаційні затрати на заробітну працю водія, грн/км;

$Z_{рен}$ – питомі експлуатаційні затрати пов'язані з амортизацією та оновленням автомобільної техніки, грн/км;

$Z_{ТОР}$ – питомі експлуатаційні затрати пов'язані з технічним обслуговуванням та ремонтом автомобіля, грн/км.

Питомі витрати на оплату праці водія у перерахунку на 1 км пробігу становлять:

$$Z_{оп} = \frac{n \cdot \tau_{год} \cdot k_{допл}}{W_n}, \text{ грн/км}, \quad (6.3)$$

де n – кількість водіїв залучених до експлуатації автомобіля, люд;

$\tau_{год}$ – погодинна оплата праці водія, грн/км;

W_n – розрахунковий пробіг автомобіля протягом однієї години, км;

$k_{допл}$ – коефіцієнт, що враховує надбавки до оплати праці водія.

Споживана кількість пального у перерахунку на 1 км пробігу автомобіля визначають з формули:

$$Z_{нмм} = q_{нмм} \cdot Ц_{нмм}, \quad (6.4)$$

де $q_{нмм}$ – споживання пального на 1 км пробігу автомобіля, л/км;

$Ц_{нмм}$ – вартість 1 літра палива, грн.

Питомі експлуатаційні затрати на амортизацією та оновлення автомобіля:

$$Z_{рен} = \frac{B_a \cdot k_p}{W_{год} \cdot T_n}, \text{ грн/км}, \quad (6.5)$$

де k_p – нормативний коефіцієнт відрахувань протягом звітного року, %;

T_n – середній прогнозований річний пробіг автомобіля, км;

B_a – залишкова балансова вартість автомобіля, грн.;

Питомі експлуатаційні затрати на технічне обслуговуванням та ремонт автомобільної техніки обчислюють:

$$Z_{ТОРрем} = \frac{B_m \cdot (k_{н.р} + k_{к.р})}{W_{год} \cdot T_p}, \text{ грн/кг}, \quad (6.6)$$

де $k_{н.р}$, $k_{к.р}$ – нормативні коефіцієнти відрахувань на поточний ремонт і капітальний ремонт, а також технічне обслуговування автомобільної техніки.

Для використання інших альтернативних видів палива необхідне додаткове обладнання та введення в експлуатацію, що ведуть до деяких капітальних вкладень. В даному випадку капітальні вкладення пов'язані з придбанням, встановленням та введенням експлуатацію комплекту ГБО можна розрахувати:

$$K_{кап.вкл} = \frac{B_a}{W_{год} \cdot T_n}. \quad (6.7)$$

Тоді можна розрахувати загальні витрати Z_3 у перерахунку на 1 кілометр пробігу автомобіля:

$$Z_3 = \Pi_3 + K_{кап.вкл} \cdot k_{эф.кап.вкл}, \quad (6.8)$$

де $k_{эф.кап.вкл}$ – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень для переведення автомобіля на використання зрідженого газу.

Зниження приведених експлуатаційних затрат можливе лише за умови зменшення вартості одного із її складових (зменшення витрати пального або його вартості, підвищення продуктивності й технічної швидкості, затрат на технічне обслуговування, тощо:

$$E_{екс.випр} = (Z_3^{nd} - Z_3^{nd}) \cdot T_p, \text{ грн}, \quad (6.9)$$

У таблиці 6.1 наведено вихідні дані для розрахунку економічної ефективності встановлення та експлуатації автомобіля з газобалонним обладнанням [27].

Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники експлуатації автомобіля оснащеного газобалонним обладнанням

Показник	Одиниці вимірювання	Бензин з етанолом	Пропан-бутан
Годинна продуктивність автомобіля	т.км/год	110000	134000
Балансова вартість автомобіля	грн	30	30
Середньорічний виробіток	тис. т.км		
Чисельність обслуговуючого персоналу	чол	1	1
основного		-	-
допоміжного			
Годинні тарифні ставки	грн/люд·год	50	50
основного		-	-
допоміжного			
Коефіцієнт, що врах доплати	–	1,05	1,05
основного		-	-
допоміжного		0,27	0,29
Коефіцієнт відрахувань на реновацію машини (машин)	–	0,16	0,16
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування машини (машин)	–	0,2	0,2
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт	–	7,8	9,1
Витрата ПММ на одиницю роботи	кг/км	55	30
Вартість 1 кг палива	грн	0,15	
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень		110000	

Використавши формули 6.1-6.9 проведено розрахунок економічної ефективності встановлення та експлуатації автомобіля з газобалонним обладнанням, а результати наведено у таблиці 6.2 [27].

Таблиця 6.2 – Результати розрахунків економічної ефективності від експлуатації автомобіля оснащеного газобалонним обладнанням

Показник	Одиниці вимірювання	Бензин з етанолом	Пропан-бутан
Річне напрацювання	тис. км	30,0	30,0
Прямі затрати на:	грн/ км		
оплату праці		52,500	52,500
ПММ		429,000	273,000
ТО, пот. і кап. рем.		1320,000	1608,000
реновацію		990,000	1295,333
Всього прямих затрат	грн/т.км	2791,500	3228,833
Капітальні вкладення	грн/т.км	3666,667	4466,667
Зведені затрати	грн/т.км	3341,500	3898,833
Річний економічний ефект	грн		16720,000
Затрати праці	люд·год/т.км	1,00	1,00
Економія експл. витрат за рік	грн		16720,00
Ступінь зменшення затрат на:	%		
оплату праці			0,000
прямих затрат			13,545
зведених затрат			17,910
капіталовкладень			14,295
Термін окупності машини	роки		1,44

Відповідно до проведених розрахунків встановлено, що експлуатація автомобіля, додатково оснащеного комплектом газобалонного обладнання має ряд відмінностей порівняно з використанням етилового бензину. Головною відмінністю є те, що додаткове оснащення автомобіля комплектом газобалонного обладнання збільшує балансову вартість автомобіля на 24 000 грн. Крім цього, зростає витрата пального на 14,1%, тоді як основна економія відбувається за рахунок нижчої ціни палива на 25 грн. Встановлено, що за ідентичного пробігу автомобіля прямі затрати під час використання пропан-бутанової суміші зменшуються на 13,5 %, зведені затрати на 13,9%, річний економічний ефект становить 16720 грн. Термін окупності комплекту газобалонного обладнання становить 1,44 роки.

Висновки за розділом

1. Під час експлуатації автомобіля важливими факторами є його паливна економічність та низький вплив на навколишнє середовище. Для зменшення негативного впливу на екологію більш доцільно використовувати газову пропан-бутанову суміш. Встановлено, що за ідентичного пробігу автомобіля прямі затрати під час використання пропан-бутанової суміші зменшуються на 13,5 %, зведені затрати на 13,9%, річний економічний ефект становить 16720 грн. Термін окупності комплекту газобалонного обладнання становить 1,44 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Під час роботи двигунів внутрішнього згоряння та функціонування автомобільних систем значна кількість шкідливих речовин вивільняється у навколишнє середовище разом із відпрацьованими газами. Ефективним заходом для зниження рівня викидів шкідливих речовин є використання альтернативних видів палива, що можуть використовуватись у сумішах чи відповідних пропорціях.

2. Введення більш жорстких екологічних стандартів призвело до широкого використання виробниками автомобілів різноманітних систем нейтралізації відпрацьованих газів. Найбільш розповсюдженими є адсорбери, каталітичні нейтралізатори, сажові фільтри, каталізатори систем SCR, система EGR.

3. Виведено аналітичні залежності утворення енергії під час згоряння паливо-повітряної суміші, розраховано кількість енергії, яка утворюється під час згоряння стехіометричної суміші.

4. Наведено основні характеристики сенсорів кисню, показники напруги залежно від співвідношення паливо-повітряної суміші на різних видах палива.

5. Проведено дослідження роботи сенсора кисню та корекції паливоподачі під час руху на 3-тій передачі.

Середня вихідна напруга із сенсора кисню (1000 об/хв.): $V = 0,539$;
 корекція паливоподачі = + 5,525% (стиснений газ пропан-бутан); $V = 0,758$;
 корекція паливоподачі = + 5,572 % (етиловий бензин А-95S E15); $V = 0,697$;
 корекція паливоподачі = + 1,508 % (традиційний бензин А-95 PULS).

Середня вихідна напруга із сенсора кисню (2000 об/хв.): $V = 0,571$;
 корекція паливоподачі = + 5,102 % (стиснений газ пропан-бутан); $V = 0,716$;
 корекція паливоподачі = + 6,159 % (етиловий бензин А-95S E15); $V = 0,663$;
 корекція паливоподачі = + 4,545 % (традиційний бензин А-95 PULS).

Середня вихідна напруга із сенсора кисню (3000 об/хв.): $V = 0,524$;
корекція паливоподачі = + 6,352 % (стиснений газ пропан-бутан); $V = 0,612$;
корекція паливоподачі = + 6,689 % (етиловий бензин А-95S E15); $V = 0,672$;
корекція паливоподачі = + 4,94 % (традиційний бензин А-95 PULS).

6. Встановлено, що додаткове оснащення автомобіля комплектом газобалонного обладнання збільшує балансову вартість автомобіля на 24 000 грн. Крім цього, зростає витрата пального на 14,1%, тоді як основна економія відбувається за рахунок нижчої ціни палива на 25 грн. Встановлено, що за ідентичного пробігу автомобіля прямі затрати під час використання пропан-бутанової суміші зменшуються на 13,5 %, зведені затрати на 13,9%, річний економічний ефект становить 16720 грн. Термін окупності комплекту газобалонного обладнання становить 1,44 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bosch automotive electrics and automotive electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 530 p.
2. Diesel Engine Management: Systems and Components / Konrad Reif. 2014. 370 p., DOI:10.1007/978-3-658-03981-3, ISBN: 978-3-658-03980-6.
3. Dryer, F.L. Chemical kinetic and combustion characteristics of transportation fuels”, Proc. Combust. Inst, 2014.
4. H. Wu, et al,” An Experimental Investigation of the Combustion Characteristics of Acetone-Butanol-Ethanol-Diesel Blends with Different ABE Component Ratios in a Constant Volume Chamber”, SAE Technical Paper, 2014.
5. Heißing B. Fahrwerkhandbuch: Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven. / Bernd Heißing, Metin Ersoy (Hrsg). Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlag : GWV Fachverlage GmbH, 2007. 591.
6. Heyne S, Grahn M, Sprei F. Systems perspectives on alternative future transportation fuels: a literature review of systems studies and scenarios, challenges and possibilities for bioenergy, production of biofuels and use of alternative transportation fuels. Report within project “A pre-study to prepare for interdisciplinary research on future alternative transportation fuels”. CIT Industriell Energi AB and Chalmers University of Technology, Sweden, 2015.
7. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems. New York, NY : Routledge, 2018. 379 p.
8. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. Київ: Арістей, 2004. 476 с
9. Безпека життєдіяльності [Текст] : підруч. для студ. с.-г. вузів / І. П. Пістун [та ін.]. – Львів : Світ, 1995. 288 с
10. Білявський Г.О. Основи екології : підручник для студ. вищих навч. закладів / Г. О. Білявський та ін. Київ: Либідь, 2004. 408 с..
11. Боярко І. М. Інвестиційний аналіз: [навч. посіб.] / І. М Боярко,Л. Л. Гриценко. Київ: Центр учбової літератури, 2011. 400 с.

12. Директива 96/96 ЄС від 20.12.1996 р "Про прийняття єдиних приписів для країн-членів Співтовариства щодо технічного нагляду транспортних засобів і причепів".

13. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах.Т.5. Екологізація ДВЗ / за ред. проф. А. П. Марченко, проф. А. Ф. Шеховцова. Харків: Прапор, 2004. 360 с.

14. Електронні автомобільні системи [Електронний ресурс]. Режим доступу : URL : <https://www.denso-am.eu/ua/products/engine-management-systems/lambda-sensors>.

15. Жидецький П.Б. Основи охорони праці. [Текст]: Підручник. Львів : Афіша, 2002. 370 с.

16. Канарчук В.Є., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті. Підручник. Київ: вища шк., 1997. 359 с.

17. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Експлуатаційна надійність автомобілів: Підручник у 2 ч., 4 кн. Київ: Вища школа, 2000. Ч. 1: кн. 1. 609 с., кн.2. 458 с.; Ч.2: кн..3. 321 с.; кн. 4. 552 с. .

18. Козак Ф. В. Про методи зниження токсичності відхідних газів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння Ф. В. Козак, В. М. Мельник // Журнал «Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ». ІФТУНГ. 2012. № 3(44). С. 121–127

19. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління. Київ: Знання-Прес, 2004. 478 с.

20. Олег Сукач, Олег Миронюк, Віктор Шевчук. Методичні рекомендації для виконання кваліфікаційної роботи здобувачами першого бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт». Дубляни, 2023. 50 с.

21. Основи економіки транспорту : підручник / Щелкунов В. І., Кулаєв Ю. Ф., Зайончик Л. Г., Загорулько В. М. [та ін.]. Київ: Кондор, 2011. 392 с.

22. Постанова КМУ № 137 від 30.01.2012 «Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки

технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу» (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 485 від 23.09.2014).

23. Приміський В. Стандарти і засоби вимірювання димності відпрацьованих газів дизельних двигунів [Електронний ресурс] В. Приміський. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2014. № 3. С. 17–21.

24. Системи каталітичного відновлення [Електронний ресурс]. <https://kus-usa.com/resources/selective-catalytic-reduction-scr-system-guide/>

25. Ткачук К. Н., Іванчук Д.Ф. та ін. Довідник по охороні праці на промисловому підприємстві. Київ: Техніка, 1991. 192 с.

26. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови : навч. посіб. Ю. Ф. Гутаревич та ін. Київ: НТУ, 2015. 244 с.

27. Шевчук Р. С. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки: Методичні рекомендації. / Р. С. Шевчук, О. М. Крупич. Львів, 1994. 27 с.

ДОДАТКИ

Результати дослідження сенсора кисню (1000 об/хв)

Стиснений газ		А-95S E15		А-95 PULS	
Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)
0,506	7,129	0,726	4,077	0,719	0,061
0,506	5,159	0,726	6,009	0,719	3,077
0,506	4,102	0,726	6,051	0,719	0,082
0,506	4,066	0,726	7,072	0,719	0,031
0,506	6,135	0,726	6,063	0,719	0,059
0,506	4,167	0,726	7,058	0,719	2,070
0,506	6,007	0,726	4,053	0,719	1,035
0,506	7,010	0,726	7,028	0,719	2,082
0,506	6,155	0,726	4,098	0,719	2,038
0,506	4,155	0,726	6,013	0,719	2,073
0,506	5,070	0,726	5,007	0,719	0,002
0,506	4,085	0,717	6,060	0,719	3,004
0,506	7,104	0,717	4,013	0,719	3,032
0,526	6,042	0,745	5,031	0,679	1,008
0,526	4,168	0,745	5,058	0,679	0,011
0,526	5,079	0,745	6,066	0,679	3,013
0,526	5,079	0,745	6,021	0,679	0,075
0,526	6,144	0,745	4,071	0,679	3,083
0,526	5,018	0,745	6,009	0,679	1,014
0,526	7,083	0,745	5,031	0,679	3,026
0,526	5,199	0,745	4,042	0,679	0,070
0,526	6,149	0,745	4,061	0,679	3,059
0,517	4,198	0,733	6,035	0,662	2,037
0,517	6,178	0,733	5,090	0,662	2,024
0,517	5,083	0,733	5,023	0,662	2,018
0,517	5,199	0,733	6,051	0,662	3,099
0,517	4,160	0,733	4,068	0,662	0,044
0,517	6,073	0,733	4,063	0,662	3,082
0,517	5,036	0,733	4,069	0,662	1,042
0,517	5,001	0,733	6,073	0,662	0,034
0,517	6,031	0,733	6,073	0,662	1,078
0,517	4,162	0,733	6,097	0,662	2,013
0,504	5,141	0,714	6,001	0,662	3,077
0,504	7,184	0,714	7,073	0,662	0,084
0,504	4,166	0,714	6,063	0,651	1,000
0,504	7,008	0,714	7,029	0,651	0,048
0,504	6,091	0,714	4,067	0,651	2,084
0,504	5,059	0,714	7,006	0,651	0,020
0,504	6,140	0,714	4,054	0,651	0,066

0,504	6,090	0,714	4,099	0,651	2,066
0,504	6,038	0,714	6,077	0,651	0,027
0,504	4,019	0,714	6,012	0,651	3,023
0,504	5,184	0,714	4,084	0,651	0,078
0,504	6,190	0,714	7,023	0,651	0,069
0,504	6,010	0,714	7,006	0,651	0,047
0,504	7,087	0,714	7,014	0,651	3,027
0,504	4,141	0,714	7,003	0,651	2,045
0,515	4,095	0,729	4,014	0,665	3,052
0,515	7,028	0,729	4,031	0,665	0,037
0,515	4,030	0,729	4,068	0,665	1,092
0,515	6,196	0,729	7,090	0,665	2,014
0,515	5,113	0,729	5,015	0,665	2,074
0,515	5,100	0,729	5,010	0,665	2,029
0,515	5,040	0,729	7,047	0,665	2,099
0,515	4,072	0,729	6,031	0,665	1,064
0,515	5,155	0,729	4,033	0,665	1,093
0,515	7,069	0,729	7,095	0,665	1,096
0,548	7,028	0,777	7,042	0,690	1,034
0,548	4,112	0,777	6,072	0,690	3,091
0,548	5,113	0,777	5,080	0,690	0,054
0,548	7,027	0,777	4,063	0,690	0,050
0,548	7,022	0,777	7,038	0,690	1,035
0,548	4,174	0,777	5,081	0,690	0,099
0,548	5,110	0,777	4,004	0,690	0,080
0,548	4,004	0,760	7,066	0,690	0,036
0,548	7,098	0,760	7,053	0,690	3,078
0,548	5,086	0,760	4,048	0,690	2,076
0,548	5,093	0,760	4,100	0,690	0,074
0,548	5,192	0,760	5,023	0,690	0,011
0,548	7,195	0,760	4,045	0,690	3,098
0,548	4,120	0,760	5,038	0,690	3,081
0,548	5,074	0,760	6,043	0,690	2,014
0,548	5,024	0,760	6,055	0,699	1,086
0,548	5,086	0,760	5,006	0,699	3,018
0,548	4,072	0,760	7,056	0,699	0,088
0,548	7,040	0,760	5,050	0,699	0,045
0,548	7,176	0,760	6,023	0,699	2,063
0,548	4,002	0,760	7,012	0,699	0,040
0,548	4,180	0,760	4,053	0,699	0,065
0,548	4,003	0,760	5,088	0,699	2,065
0,548	5,040	0,760	4,004	0,699	2,097
0,548	7,196	0,760	5,070	0,699	1,030
0,548	7,044	0,760	5,034	0,699	3,095
0,548	7,099	0,760	6,087	0,699	2,040
0,548	6,176	0,760	7,078	0,699	1,013

0,548	4,077	0,760	5,045	0,699	2,078
0,548	5,064	0,760	4,095	0,705	2,067
0,548	4,138	0,760	4,094	0,705	1,096
0,548	5,015	0,718	4,075	0,705	1,015
0,548	7,012	0,718	5,045	0,705	3,022
0,548	5,025	0,718	6,018	0,705	3,081
0,548	4,195	0,718	4,077	0,705	3,004
0,548	4,064	0,718	6,046	0,705	2,058
0,548	5,124	0,718	4,035	0,705	1,098
0,548	6,026	0,718	4,074	0,705	2,097
0,548	5,125	0,718	4,028	0,705	1,000
0,548	6,188	0,718	6,034	0,705	0,047
0,548	4,047	0,718	6,047	0,705	1,093
0,548	4,171	0,718	5,034	0,705	3,027
0,548	5,185	0,718	6,017	0,705	0,061
0,548	4,100	0,718	6,024	0,705	3,015
0,548	7,020	0,718	6,053	0,705	2,025
0,548	5,054	0,718	5,000	0,708	2,037
0,548	4,013	0,718	6,008	0,708	2,019
0,548	7,087	0,718	6,006	0,708	0,099
0,548	5,047	0,718	7,031	0,708	0,058
0,548	4,097	0,718	5,089	0,708	3,036
0,548	5,068	0,718	7,038	0,708	1,071
0,548	7,136	0,718	7,076	0,708	1,086
0,548	7,140	0,718	7,049	0,708	3,060
0,548	5,074	0,718	7,007	0,708	3,085
0,548	4,163	0,718	7,010	0,708	1,047
0,548	7,122	0,718	4,019	0,708	1,081
0,548	5,041	0,718	6,076	0,708	2,100
0,548	7,031	0,718	6,020	0,708	0,090
0,548	6,072	0,718	5,014	0,708	0,035
0,548	5,110	0,718	5,001	0,708	3,065
0,548	4,139	0,718	5,029	0,708	3,030
0,548	7,150	0,718	4,071	0,708	1,085
0,548	5,143	0,718	5,036	0,708	3,004
0,548	6,184	0,784	5,100	0,708	2,002
0,548	4,123	0,784	5,000	0,708	3,003
0,548	5,028	0,784	5,096	0,708	2,099
0,548	4,185	0,784	7,047	0,708	0,087
0,548	7,087	0,784	7,049	0,708	0,019
0,548	5,182	0,784	6,088	0,708	0,049
0,548	7,160	0,784	4,059	0,708	3,088
0,548	5,043	0,784	7,038	0,708	3,034
0,548	6,028	0,784	5,077	0,708	2,073
0,548	4,005	0,784	7,040	0,708	2,041
0,548	7,122	0,784	7,076	0,708	3,039

0,548	5,138	0,784	4,041	0,708	3,073
0,548	7,036	0,784	4,097	0,708	2,022
0,548	5,023	0,784	6,048	0,708	2,028
0,548	4,009	0,784	5,017	0,708	1,026
0,548	6,113	0,784	5,064	0,708	3,063
0,548	5,138	0,784	6,087	0,708	1,037
0,548	4,039	0,784	7,009	0,708	3,016
0,548	7,128	0,784	5,077	0,708	3,058
0,548	7,020	0,784	5,043	0,708	0,047
0,548	4,085	0,777	7,030	0,708	3,087
0,548	6,197	0,777	5,060	0,708	2,079
0,548	7,113	0,777	6,096	0,708	0,019
0,548	6,020	0,777	7,077	0,708	3,057
0,548	6,057	0,777	4,081	0,708	1,094
0,548	4,050	0,777	6,015	0,708	0,035
0,548	5,081	0,777	7,062	0,708	3,054
0,548	4,020	0,777	4,079	0,708	2,007
0,548	4,060	0,777	6,092	0,708	2,009
0,548	7,037	0,777	4,011	0,708	3,058
0,548	7,105	0,777	4,018	0,708	1,044
0,548	4,170	0,777	7,096	0,708	0,091
0,548	4,124	0,777	7,071	0,708	0,087
0,548	5,149	0,777	4,023	0,708	1,028
0,548	7,041	0,777	5,052	0,708	1,069
0,548	6,185	0,777	5,000	0,708	3,064
0,548	5,138	0,777	7,093	0,708	3,038
0,548	4,063	0,777	7,056	0,708	0,035
0,548	6,064	0,777	7,007	0,708	1,023
0,548	6,119	0,777	5,087	0,708	1,026
0,548	4,015	0,777	5,073	0,708	1,016
0,548	6,061	0,777	6,055	0,708	1,089
0,548	6,111	0,777	7,065	0,708	2,045
0,548	4,190	0,798	6,052	0,708	1,007
0,548	7,061	0,798	4,013	0,708	0,046
0,548	4,041	0,798	4,095	0,708	2,038
0,548	7,195	0,798	6,095	0,708	3,096
0,548	7,042	0,798	5,097	0,708	1,034
0,548	6,104	0,798	5,009	0,708	3,046
0,548	7,161	0,798	6,010	0,708	3,038
0,548	7,199	0,798	7,049	0,708	0,084
0,548	5,159	0,798	6,017	0,708	0,075
0,548	6,137	0,798	7,024	0,708	1,073
0,548	6,158	0,798	4,041	0,708	1,017
0,548	5,067	0,798	6,059	0,708	1,061
0,548	5,057	0,798	6,013	0,708	1,080
0,548	5,167	0,798	5,031	0,708	3,016

0,548	7,073	0,798	6,097	0,708	2,007
0,548	5,125	0,798	6,080	0,708	3,059
0,548	7,194	0,798	6,043	0,708	2,092
0,548	7,010	0,798	5,080	0,708	0,090
0,548	6,064	0,798	7,017	0,708	0,050
0,548	6,085	0,798	5,039	0,708	0,088
0,548	5,072	0,798	4,052	0,708	1,053
0,548	5,191	0,798	6,079	0,708	1,075
0,548	5,120	0,798	4,000	0,708	2,034
0,548	5,170	0,798	5,021	0,708	0,099
0,548	4,031	0,798	7,097	0,708	3,016
0,548	7,078	0,798	5,098	0,708	3,034
0,548	7,143	0,798	4,090	0,708	0,041
0,548	6,082	0,798	6,083	0,708	2,047
0,548	7,073	0,798	6,009	0,708	0,086
0,548	4,029	0,798	5,085	0,708	0,086
0,548	7,034	0,798	7,079	0,708	1,089
0,548	5,126	0,798	5,082	0,708	2,002
0,548	7,008	0,798	4,070	0,708	1,027
0,548	5,120	0,798	7,089	0,708	1,015
0,548	7,100	0,798	5,017	0,708	1,091
0,548	4,178	0,798	6,044	0,708	1,076
0,548	6,185	0,798	7,041	0,708	3,006
0,548	7,079	0,798	5,059	0,708	3,026
0,548	6,171	0,798	7,100	0,708	0,066
0,548	4,089	0,777	7,031	0,708	3,053
0,548	4,058	0,777	6,009	0,708	1,098
0,548	4,169	0,777	6,029	0,708	3,042
0,548	5,145	0,777	5,014	0,708	0,005
0,548	5,138	0,777	4,076	0,708	3,023
0,548	4,133	0,777	7,079	0,708	2,061
0,548	6,080	0,777	4,050	0,708	1,029
0,548	5,107	0,777	6,043	0,708	3,085
0,548	4,128	0,777	7,062	0,708	0,040
0,548	4,178	0,777	5,031	0,708	2,060
0,548	4,005	0,777	6,018	0,708	1,021
0,548	4,019	0,777	4,008	0,708	0,073
0,548	5,093	0,777	7,077	0,708	0,074
0,548	6,121	0,777	6,000	0,708	0,067
0,548	6,131	0,777	7,012	0,708	3,066
0,548	4,162	0,777	4,098	0,708	2,059
0,548	6,151	0,777	4,060	0,708	0,054
0,548	4,109	0,777	7,021	0,708	3,047
0,548	7,194	0,777	6,019	0,708	0,083
0,548	5,028	0,777	7,080	0,708	3,047
0,548	7,041	0,777	4,072	0,708	0,100

0,548	4,048	0,777	7,056	0,708	0,020
0,535	7,096	0,758	6,012	0,691	3,036
0,535	6,131	0,758	5,031	0,691	1,043
0,535	5,163	0,758	4,076	0,691	3,076
0,535	6,187	0,758	5,006	0,691	0,048
0,535	4,108	0,758	6,011	0,691	1,016
0,535	7,018	0,758	7,020	0,691	2,069
0,535	7,167	0,758	5,065	0,691	1,062
0,535	4,066	0,758	7,096	0,691	3,001
0,535	4,015	0,758	4,015	0,691	1,098
0,535	5,115	0,758	4,070	0,691	3,003
0,535	5,040	0,758	7,097	0,691	0,000
0,535	7,017	0,758	6,004	0,691	1,045
0,535	5,177	0,758	5,007	0,691	1,075
0,535	7,158	0,758	5,003	0,691	3,023
0,535	7,019	0,758	5,027	0,691	0,053
0,535	6,146	0,758	7,001	0,691	2,053
0,535	6,171	0,758	5,062	0,691	0,090
0,535	6,111	0,758	5,013	0,691	2,022
0,535	5,151	0,758	4,033	0,691	2,071
0,535	5,124	0,758	7,096	0,691	0,082
0,535	5,180	0,758	7,018	0,691	2,086
0,535	7,191	0,758	5,081	0,691	2,085
0,535	6,026	0,758	4,025	0,691	0,004
0,515	5,113	0,729	6,001	0,665	1,079
$\Sigma = 0,539$	$\Sigma = 5,524$	$\Sigma = 0,758$	$\Sigma = 5,572$	$\Sigma = 0,697$	$\Sigma = 1,508$

Результати дослідження сенсора кисню (2000 об/хв)

Стиснений газ		A-95S E15		A-95 PULS	
Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)
0,589	7,329	0,749	8,127	0,628	3,044
0,589	3,283	0,749	5,103	0,628	3,028
0,589	5,002	0,749	7,122	0,628	4,106
0,589	7,284	0,749	6,125	0,628	4,290
0,589	7,109	0,749	7,283	0,628	5,058
0,589	3,269	0,749	8,130	0,628	5,257
0,589	5,193	0,749	4,212	0,697	5,094
0,589	7,446	0,749	5,274	0,697	5,027
0,589	4,350	0,749	8,195	0,697	4,066
0,589	4,206	0,738	8,059	0,687	5,200
0,589	5,279	0,738	7,271	0,687	5,122
0,589	7,411	0,738	8,278	0,687	4,081
0,589	7,121	0,738	6,244	0,687	4,182
0,556	6,052	0,696	7,226	0,648	5,233
0,556	6,413	0,696	5,153	0,648	6,244
0,556	7,118	0,696	7,232	0,648	4,291
0,556	4,253	0,696	7,261	0,648	6,218
0,556	6,233	0,696	4,200	0,648	6,106
0,556	5,139	0,696	6,088	0,648	3,289
0,556	6,337	0,696	5,104	0,648	5,111
0,556	7,264	0,696	7,326	0,648	4,024
0,556	5,328	0,696	4,246	0,648	3,080
0,542	4,097	0,679	5,239	0,632	3,005
0,542	6,177	0,679	4,331	0,632	5,242
0,542	6,390	0,679	7,383	0,632	6,111
0,542	5,209	0,679	4,345	0,670	6,149
0,542	5,321	0,679	6,290	0,670	5,097
0,542	3,170	0,679	4,121	0,670	6,299
0,542	7,299	0,679	8,312	0,670	4,248
0,542	3,001	0,679	6,221	0,670	6,087
0,542	4,233	0,679	5,205	0,670	4,180
0,542	3,162	0,679	6,246	0,670	6,159
0,542	3,412	0,679	8,153	0,632	4,177
0,542	7,093	0,679	5,000	0,632	5,289
0,533	5,083	0,668	4,279	0,622	4,020
0,533	4,066	0,668	8,246	0,622	6,187
0,533	4,319	0,668	7,009	0,622	6,251
0,533	3,054	0,668	4,187	0,622	4,227
0,533	6,343	0,668	8,084	0,622	3,228

0,533	4,450	0,668	4,248	0,622	3,248
0,533	3,385	0,668	7,069	0,622	5,260
0,533	3,297	0,668	4,077	0,622	5,059
0,533	6,098	0,668	4,357	0,622	5,249
0,533	3,128	0,668	8,266	0,622	5,261
0,533	3,238	0,668	7,309	0,622	3,202
0,533	5,333	0,668	8,121	0,622	5,170
0,533	3,157	0,668	7,208	0,622	4,084
0,545	6,026	0,682	8,056	0,635	3,189
0,545	3,393	0,682	5,094	0,635	3,113
0,545	3,273	0,682	4,210	0,635	6,261
0,545	5,100	0,682	8,341	0,635	5,114
0,545	4,209	0,682	7,018	0,635	5,183
0,545	3,204	0,682	6,247	0,635	3,166
0,545	7,171	0,682	5,188	0,635	3,249
0,545	4,138	0,682	8,371	0,635	3,017
0,545	4,212	0,682	5,235	0,635	6,228
0,545	6,041	0,682	5,306	0,635	3,299
0,565	5,066	0,708	7,191	0,659	5,085
0,565	7,067	0,708	4,236	0,659	5,012
0,565	6,424	0,708	8,364	0,659	5,011
0,565	5,280	0,708	5,283	0,659	4,010
0,565	3,106	0,708	7,059	0,659	4,087
0,565	6,409	0,708	8,105	0,659	4,060
0,565	4,194	0,708	5,081	0,659	6,148
0,565	3,423	0,708	4,121	0,659	4,191
0,565	4,238	0,708	8,334	0,659	3,112
0,565	4,180	0,708	5,318	0,659	4,069
0,565	6,330	0,708	6,181	0,659	6,207
0,565	3,038	0,708	5,194	0,659	5,076
0,565	7,413	0,708	6,055	0,659	4,191
0,565	6,075	0,708	8,259	0,659	5,201
0,565	4,003	0,708	7,128	0,659	4,183
0,573	4,334	0,717	5,130	0,667	4,099
0,573	4,439	0,717	6,326	0,667	3,166
0,573	7,019	0,717	5,224	0,667	5,298
0,573	3,098	0,717	7,351	0,667	6,011
0,573	7,013	0,717	6,371	0,667	5,202
0,573	5,302	0,717	4,082	0,667	3,070
0,573	6,009	0,717	6,287	0,667	3,135
0,573	5,419	0,717	8,348	0,667	3,016
0,573	4,239	0,717	8,089	0,667	6,174
0,573	3,143	0,717	8,250	0,667	3,215
0,573	7,155	0,717	4,016	0,667	3,119
0,573	7,276	0,717	5,223	0,667	4,019
0,573	7,328	0,717	4,044	0,667	5,147

0,573	3,057	0,717	6,149	0,667	6,248
0,578	3,425	0,723	6,202	0,673	5,210
0,578	4,268	0,723	5,173	0,673	3,050
0,578	4,412	0,723	7,048	0,668	3,000
0,578	4,445	0,723	5,377	0,668	5,082
0,578	7,016	0,723	4,053	0,668	5,071
0,578	4,274	0,723	7,335	0,668	3,107
0,578	6,210	0,723	6,086	0,668	4,123
0,578	3,061	0,723	5,293	0,668	4,251
0,578	3,158	0,723	8,058	0,668	6,129
0,578	4,205	0,723	7,141	0,668	5,095
0,578	7,003	0,723	6,263	0,668	4,163
0,578	6,319	0,723	7,322	0,668	3,288
0,578	3,081	0,723	8,274	0,668	4,056
0,578	3,175	0,723	5,112	0,668	6,082
0,578	5,378	0,723	5,224	0,668	3,092
0,578	4,062	0,723	4,384	0,668	5,230
0,580	7,391	0,727	7,006	0,676	6,029
0,580	4,097	0,727	7,351	0,676	4,049
0,580	4,016	0,727	6,249	0,676	4,115
0,580	3,258	0,727	7,299	0,676	6,001
0,580	7,350	0,727	4,141	0,676	5,284
0,580	7,004	0,727	6,157	0,676	4,274
0,580	7,326	0,727	6,091	0,676	3,179
0,580	5,360	0,727	6,064	0,676	5,015
0,580	3,199	0,727	4,354	0,676	4,167
0,580	6,114	0,727	8,221	0,676	5,205
0,580	7,252	0,727	7,222	0,665	3,208
0,580	4,420	0,727	7,349	0,665	3,195
0,580	5,337	0,727	4,028	0,665	6,033
0,580	7,210	0,727	6,366	0,665	3,271
0,580	5,190	0,727	6,215	0,665	4,196
0,580	5,043	0,727	8,388	0,665	4,269
0,580	5,149	0,727	7,293	0,665	5,133
0,580	3,040	0,727	5,261	0,665	4,124
0,580	6,139	0,727	6,333	0,665	5,170
0,580	4,236	0,727	4,343	0,665	6,087
0,580	6,334	0,727	4,000	0,665	3,091
0,580	4,288	0,727	5,041	0,665	5,144
0,580	7,138	0,727	4,251	0,665	3,183
0,580	7,340	0,727	8,221	0,665	6,131
0,580	3,448	0,727	7,000	0,665	3,070
0,580	3,113	0,727	7,326	0,665	5,282
0,580	6,245	0,727	6,302	0,665	4,156
0,580	5,361	0,727	8,104	0,665	6,131
0,580	4,060	0,727	7,099	0,676	4,242

0,580	3,167	0,727	5,324	0,676	3,110
0,580	4,079	0,727	4,350	0,676	5,171
0,580	4,197	0,727	4,273	0,676	4,048
0,580	3,049	0,727	5,371	0,676	6,121
0,580	4,328	0,727	7,035	0,676	4,198
0,580	7,150	0,727	8,297	0,676	3,088
0,580	6,363	0,727	4,342	0,676	3,124
0,580	7,363	0,727	8,371	0,676	6,224
0,580	4,404	0,727	7,210	0,669	3,245
0,580	5,145	0,727	4,209	0,669	3,208
0,580	4,354	0,727	5,139	0,669	5,159
0,580	5,391	0,727	4,143	0,669	3,047
0,580	3,040	0,727	4,355	0,669	4,241
0,580	7,013	0,727	4,122	0,669	3,251
0,580	7,056	0,727	7,310	0,669	6,054
0,580	4,066	0,727	6,254	0,669	6,147
0,580	7,127	0,727	5,049	0,669	3,186
0,580	4,066	0,727	5,033	0,669	4,045
0,580	4,017	0,727	6,328	0,669	3,081
0,580	5,236	0,727	8,393	0,669	6,060
0,580	7,395	0,727	5,367	0,669	5,238
0,580	6,013	0,727	7,371	0,669	4,277
0,580	5,266	0,727	4,241	0,676	6,267
0,580	7,086	0,727	4,156	0,676	3,202
0,580	5,310	0,727	5,097	0,676	4,090
0,580	6,158	0,727	8,270	0,676	5,055
0,580	6,072	0,727	7,053	0,676	5,084
0,580	7,215	0,727	7,327	0,676	5,055
0,580	5,382	0,727	5,111	0,676	6,154
0,580	7,076	0,727	4,285	0,670	3,163
0,580	6,178	0,727	8,291	0,670	6,263
0,580	4,367	0,727	5,288	0,670	3,246
0,580	5,271	0,727	7,268	0,670	3,226
0,580	5,427	0,727	4,242	0,670	3,129
0,580	4,193	0,727	8,274	0,670	3,291
0,580	5,450	0,727	4,149	0,670	3,035
0,580	4,014	0,727	4,330	0,670	6,242
0,580	5,321	0,727	5,362	0,670	4,234
0,580	6,253	0,727	5,352	0,670	5,062
0,580	7,292	0,727	7,178	0,670	4,190
0,580	5,434	0,727	4,088	0,670	4,148
0,580	3,349	0,727	7,111	0,670	6,121
0,580	7,372	0,727	6,036	0,670	6,075
0,580	5,386	0,727	5,340	0,670	3,287
0,580	3,055	0,727	7,345	0,670	3,009
0,580	3,228	0,727	6,067	0,670	3,202

0,580	4,277	0,727	4,043	0,670	5,274
0,580	3,392	0,727	7,090	0,670	5,038
0,580	6,303	0,727	8,236	0,670	5,034
0,580	6,242	0,727	4,264	0,670	5,029
0,580	5,295	0,727	8,356	0,670	6,013
0,580	7,190	0,727	6,041	0,670	3,208
0,580	3,417	0,727	7,219	0,670	6,012
0,580	4,216	0,727	4,303	0,670	5,214
0,580	6,317	0,727	4,301	0,670	4,194
0,580	6,107	0,727	6,318	0,670	5,254
0,580	3,018	0,727	5,050	0,670	5,287
0,580	6,008	0,727	8,120	0,670	5,181
0,580	4,280	0,727	8,058	0,670	5,232
0,580	3,338	0,727	7,143	0,670	5,288
0,580	4,040	0,727	5,351	0,670	5,115
0,580	5,372	0,727	6,317	0,670	3,122
0,580	7,030	0,727	7,275	0,670	3,187
0,580	6,371	0,727	8,144	0,670	6,152
0,580	5,016	0,727	4,000	0,670	3,294
0,580	5,233	0,727	7,072	0,670	6,299
0,580	3,397	0,727	4,390	0,670	5,244
0,580	7,148	0,727	6,306	0,670	4,017
0,580	6,385	0,727	4,298	0,670	4,057
0,580	5,440	0,727	6,327	0,670	3,180
0,580	6,350	0,727	7,357	0,670	6,154
0,580	3,415	0,727	7,176	0,670	3,099
0,580	3,183	0,727	4,301	0,670	5,214
0,580	7,080	0,727	7,073	0,670	4,281
0,580	6,335	0,727	7,280	0,670	4,207
0,580	3,281	0,727	6,141	0,670	3,222
0,580	4,339	0,727	7,086	0,670	3,009
0,580	5,262	0,727	5,358	0,670	3,222
0,580	5,402	0,727	4,377	0,670	4,250
0,580	5,114	0,727	7,355	0,670	3,194
0,580	3,005	0,727	5,148	0,670	5,293
0,580	4,216	0,727	4,046	0,670	5,017
0,580	6,216	0,727	7,374	0,670	4,078
0,580	4,270	0,727	7,179	0,676	5,009
0,580	7,139	0,727	5,156	0,676	6,141
0,580	3,077	0,727	4,252	0,676	4,090
0,580	3,068	0,727	8,330	0,676	4,299
0,580	5,069	0,727	6,327	0,676	5,218
0,580	3,203	0,727	4,342	0,676	5,232
0,580	7,194	0,727	4,178	0,676	3,156
0,580	3,305	0,727	5,060	0,676	5,099
0,580	7,440	0,727	7,086	0,676	6,294

0,580	3,357	0,727	4,116	0,676	4,014
0,566	4,382	0,709	4,263	0,660	4,016
0,566	7,270	0,709	4,229	0,660	4,219
0,566	7,329	0,709	6,070	0,660	4,166
0,566	3,251	0,709	5,022	0,660	6,034
0,566	3,345	0,709	8,189	0,660	6,223
0,566	6,296	0,709	6,060	0,660	5,117
0,566	3,331	0,709	4,357	0,660	3,088
0,566	5,130	0,709	8,064	0,660	6,063
0,566	4,252	0,709	7,106	0,660	5,064
0,566	6,139	0,709	6,360	0,660	5,274
0,566	5,041	0,709	6,109	0,660	4,066
0,566	4,344	0,709	5,184	0,660	5,041
0,566	3,106	0,709	8,387	0,660	4,182
0,566	4,322	0,709	7,141	0,660	5,126
0,566	7,221	0,709	7,199	0,660	5,043
0,566	3,020	0,709	8,279	0,660	3,089
0,566	4,012	0,709	7,272	0,660	4,092
0,566	4,048	0,709	5,219	0,660	6,284
0,566	6,298	0,709	6,107	0,660	3,103
0,566	7,204	0,709	4,278	0,660	3,116
0,566	7,074	0,709	8,087	0,660	3,229
0,566	3,199	0,709	8,039	0,660	3,041
0,566	3,294	0,709	6,238	0,660	5,164
0,545	3,285	0,682	5,199	0,635	6,038
$\Sigma = 0,571$	$\Sigma = 5,102$	$\Sigma = 0,716$	$\Sigma = 6,159$	$\Sigma = 0,663$	$\Sigma = 4,545$

Результати дослідження сенсора кисню (3000 об/хв)

Стиснений газ		A-95S E15		A-95 PULS	
Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)	Напруга на сенсорі кисню (V)	Корекція впорскування палива (%)
0,492	6,086	0,586	8,341	0,635	6,406
0,492	8,075	0,586	6,496	0,635	5,472
0,492	6,375	0,586	5,418	0,635	5,009
0,492	7,173	0,586	6,107	0,636	2,016
0,492	8,184	0,586	7,121	0,636	3,390
0,492	6,330	0,586	6,510	0,636	5,462
0,557	7,507	0,645	8,414	0,707	3,241
0,557	5,123	0,645	6,122	0,707	6,518
0,557	8,432	0,645	5,408	0,707	4,391
0,557	6,475	0,645	8,539	0,696	4,177
0,557	7,452	0,645	8,219	0,696	2,517
0,548	6,195	0,645	6,199	0,696	4,127
0,548	5,029	0,645	6,059	0,696	3,338
0,512	7,081	0,645	7,462	0,657	3,141
0,512	8,070	0,645	7,193	0,657	5,059
0,512	7,120	0,645	5,226	0,657	4,446
0,512	7,467	0,600	7,041	0,653	4,442
0,508	4,207	0,596	7,129	0,653	6,119
0,508	8,036	0,596	5,432	0,653	3,445
0,508	5,295	0,596	5,549	0,657	4,125
0,508	4,505	0,596	6,189	0,657	6,131
0,508	5,488	0,596	6,401	0,657	3,394
0,508	6,033	0,596	5,283	0,641	3,512
0,497	8,364	0,596	6,480	0,641	6,180
0,497	5,024	0,596	7,414	0,641	2,249
0,497	7,446	0,596	7,169	0,680	6,027
0,497	4,187	0,596	5,400	0,680	3,421
0,497	6,480	0,585	5,065	0,680	6,198
0,533	6,240	0,585	6,074	0,680	2,019
0,533	5,037	0,585	8,287	0,680	5,486
0,533	7,136	0,585	6,219	0,680	2,022
0,533	7,447	0,585	8,129	0,680	4,001
0,497	6,484	0,585	7,220	0,641	6,122
0,497	4,225	0,585	6,465	0,641	2,392
0,497	4,345	0,585	5,532	0,630	2,296
0,497	4,324	0,585	7,294	0,630	3,531
0,497	8,372	0,585	7,492	0,630	6,156
0,497	4,107	0,585	7,221	0,630	6,407
0,487	7,180	0,585	7,022	0,630	4,078

0,487	6,474	0,585	5,153	0,630	6,304
0,494	4,135	0,585	8,484	0,638	6,440
0,494	8,363	0,582	7,325	0,638	3,139
0,494	7,290	0,582	8,431	0,638	5,059
0,494	8,480	0,582	5,404	0,630	3,095
0,494	8,134	0,582	6,022	0,630	5,020
0,494	5,138	0,582	8,555	0,630	4,308
0,487	7,447	0,575	8,063	0,630	5,060
0,500	7,348	0,575	5,077	0,644	4,234
0,500	8,180	0,588	5,289	0,644	2,217
0,500	6,310	0,588	7,002	0,644	6,331
0,500	4,414	0,588	5,491	0,644	3,391
0,497	5,385	0,585	5,517	0,641	5,362
0,497	7,133	0,585	7,071	0,641	2,120
0,500	6,333	0,585	8,054	0,644	5,022
0,500	7,275	0,585	6,165	0,644	6,181
0,500	4,508	0,588	5,502	0,644	6,059
0,500	7,049	0,588	8,223	0,644	3,452
0,500	7,473	0,588	5,063	0,668	2,036
0,500	5,229	0,588	7,071	0,668	5,180
0,500	4,148	0,588	5,407	0,668	6,082
0,522	6,279	0,588	8,006	0,668	5,238
0,522	4,366	0,610	5,192	0,668	3,061
0,522	4,128	0,610	5,389	0,668	2,285
0,522	8,497	0,610	8,546	0,666	4,167
0,522	4,156	0,604	5,053	0,666	2,345
0,522	7,194	0,604	5,511	0,666	4,040
0,522	8,259	0,604	8,405	0,666	6,102
0,522	5,106	0,604	8,280	0,666	3,356
0,520	8,324	0,608	7,456	0,666	6,407
0,522	8,068	0,608	6,361	0,668	5,281
0,522	7,290	0,608	5,444	0,668	2,269
0,522	5,057	0,610	6,384	0,668	3,451
0,530	6,080	0,610	7,017	0,677	5,529
0,530	5,315	0,610	7,546	0,677	3,195
0,533	4,214	0,621	7,162	0,677	6,205
0,533	4,354	0,621	8,140	0,677	5,491
0,533	5,212	0,618	8,131	0,677	3,393
0,533	6,407	0,618	5,049	0,674	3,326
0,533	6,413	0,618	7,051	0,674	6,515
0,533	4,290	0,621	8,501	0,674	6,352
0,527	6,504	0,615	6,262	0,674	4,110
0,527	4,509	0,615	6,032	0,674	6,332
0,527	4,074	0,615	6,017	0,674	3,310
0,527	6,498	0,615	7,525	0,674	3,153
0,527	6,226	0,615	6,075	0,674	2,162

0,530	8,178	0,619	7,318	0,677	3,535
0,530	5,063	0,619	5,321	0,683	6,266
0,530	6,283	0,619	5,286	0,683	2,352
0,530	7,248	0,618	8,250	0,675	5,162
0,529	8,469	0,617	7,547	0,675	5,007
0,529	6,077	0,617	7,008	0,675	6,387
0,531	5,072	0,619	6,332	0,675	3,276
0,531	8,180	0,619	5,017	0,675	2,415
0,531	8,296	0,619	6,333	0,675	2,098
0,531	7,370	0,617	7,099	0,675	3,310
0,531	8,257	0,617	5,305	0,675	5,520
0,531	4,505	0,617	5,394	0,675	4,163
0,531	8,386	0,619	8,447	0,675	5,476
0,529	6,277	0,617	6,067	0,675	6,369
0,529	7,370	0,617	5,032	0,675	3,367
0,529	6,283	0,617	6,105	0,675	6,299
0,535	7,081	0,623	7,473	0,683	3,155
0,538	4,076	0,623	8,086	0,686	6,220
0,538	4,404	0,623	8,543	0,686	6,111
0,538	4,177	0,626	6,426	0,686	6,114
0,538	7,336	0,626	8,481	0,686	6,068
0,533	6,285	0,621	6,053	0,686	3,043
0,533	8,134	0,621	5,088	0,686	5,182
0,533	4,475	0,621	8,154	0,686	2,054
0,538	8,082	0,626	7,412	0,686	2,128
0,538	8,149	0,626	8,368	0,686	5,174
0,538	5,119	0,626	7,240	0,686	3,491
0,527	8,485	0,615	5,322	0,674	6,290
0,527	4,405	0,615	6,523	0,674	3,318
0,527	4,089	0,615	5,234	0,674	5,103
0,518	4,121	0,615	7,303	0,674	2,296
0,518	5,393	0,615	6,276	0,674	6,160
0,518	5,051	0,615	6,005	0,674	4,247
0,518	7,298	0,606	8,217	0,674	5,508
0,518	8,372	0,606	7,174	0,674	2,291
0,518	6,426	0,606	7,349	0,674	4,477
0,518	5,174	0,606	8,244	0,674	6,053
0,527	4,283	0,606	7,248	0,674	6,127
0,527	4,366	0,606	6,100	0,674	6,417
0,527	5,404	0,615	7,558	0,674	5,146
0,527	6,410	0,615	5,026	0,674	6,044
0,526	8,482	0,614	6,351	0,674	4,187
0,526	6,288	0,614	5,557	0,674	3,110
0,526	4,180	0,614	6,081	0,674	5,159
0,526	7,065	0,614	5,027	0,674	2,132
0,526	7,318	0,614	6,347	0,686	5,390

0,526	5,366	0,614	5,224	0,686	2,480
0,526	6,351	0,614	6,434	0,686	6,012
0,538	6,392	0,626	6,241	0,686	4,513
0,538	7,112	0,626	7,503	0,686	2,110
0,538	5,500	0,623	8,552	0,686	4,498
0,538	5,229	0,623	5,530	0,686	2,195
0,538	4,290	0,623	5,234	0,686	3,121
0,538	6,395	0,623	5,129	0,686	4,467
0,531	8,279	0,623	5,342	0,678	6,282
0,531	5,240	0,619	7,348	0,678	4,439
0,531	4,063	0,619	8,231	0,678	3,085
0,531	8,486	0,619	7,495	0,678	4,115
0,531	5,159	0,619	5,258	0,678	2,198
0,531	8,409	0,619	6,372	0,678	5,447
0,531	4,486	0,619	6,364	0,678	2,353
0,531	4,249	0,619	8,291	0,678	5,360
0,534	6,412	0,622	5,058	0,678	5,296
0,534	7,221	0,622	7,181	0,678	4,445
0,534	5,114	0,622	5,283	0,678	4,333
0,534	5,258	0,622	6,194	0,678	6,500
0,531	4,294	0,619	8,386	0,678	6,189
0,531	7,446	0,619	6,327	0,678	2,194
0,538	7,414	0,626	6,182	0,686	4,443
0,538	8,392	0,623	5,353	0,686	6,264
0,538	8,455	0,623	8,014	0,686	2,087
0,538	5,210	0,623	8,331	0,686	4,352
0,538	4,058	0,623	7,257	0,686	4,509
0,538	8,057	0,626	8,393	0,686	4,023
0,538	5,230	0,626	6,159	0,686	6,488
0,533	5,395	0,621	5,033	0,680	5,149
0,533	7,233	0,621	7,486	0,680	2,193
0,533	8,448	0,621	8,194	0,680	6,316
0,533	7,125	0,617	8,518	0,680	3,098
0,533	5,237	0,617	8,360	0,680	5,254
0,533	6,474	0,617	8,522	0,680	2,443
0,533	5,265	0,617	8,399	0,680	6,080
0,533	4,498	0,621	6,420	0,683	2,532
0,533	5,044	0,621	5,421	0,683	2,390
0,533	4,044	0,621	7,392	0,683	4,170
0,533	8,510	0,621	8,122	0,683	5,076
0,533	7,296	0,621	8,437	0,683	4,113
0,533	7,277	0,621	8,498	0,683	3,011
0,533	8,446	0,621	5,035	0,683	6,520
0,533	5,142	0,621	6,101	0,683	6,366
0,533	7,158	0,621	8,488	0,683	6,488
0,533	6,387	0,621	7,428	0,683	6,355

0,533	7,226	0,625	5,256	0,683	4,506
0,533	7,494	0,625	8,479	0,680	3,275
0,533	7,448	0,625	8,040	0,680	4,355
0,533	6,209	0,625	7,530	0,680	3,344
0,533	6,364	0,625	5,556	0,680	4,533
0,533	6,330	0,625	5,543	0,680	3,289
0,533	8,156	0,621	5,382	0,680	4,434
0,533	4,417	0,621	6,495	0,680	5,143
0,533	5,105	0,621	6,200	0,680	5,382
0,533	4,461	0,621	5,130	0,680	4,298
0,533	6,260	0,621	5,393	0,680	3,249
0,533	8,396	0,615	7,517	0,681	3,429
0,533	8,324	0,615	8,171	0,681	4,253
0,533	5,234	0,615	8,347	0,681	3,116
0,533	7,375	0,615	6,274	0,681	5,228
0,533	6,457	0,615	6,334	0,681	4,116
0,533	6,377	0,615	6,475	0,681	4,189
0,533	8,207	0,615	8,479	0,681	5,060
0,533	6,405	0,615	6,234	0,681	3,175
0,533	4,494	0,621	5,165	0,681	6,276
0,533	7,215	0,621	6,066	0,681	4,271
0,533	5,402	0,621	7,227	0,681	6,057
0,533	6,029	0,621	7,460	0,681	3,482
0,533	6,224	0,621	6,385	0,681	5,145
0,533	4,366	0,618	7,151	0,681	2,323
0,533	6,146	0,618	5,455	0,681	6,445
0,533	8,077	0,618	6,327	0,681	4,068
0,533	7,310	0,618	6,532	0,681	2,134
0,533	8,031	0,618	7,018	0,681	6,232
0,533	7,344	0,618	8,481	0,680	2,172
0,533	7,053	0,618	6,128	0,680	5,479
0,533	8,429	0,618	5,150	0,680	5,289
0,533	8,167	0,618	6,332	0,680	5,385
0,533	5,485	0,621	5,542	0,680	5,061
0,533	8,381	0,621	7,493	0,680	5,290
0,533	6,240	0,621	5,127	0,680	6,535
0,533	6,437	0,621	5,452	0,680	3,329
0,538	4,447	0,626	5,471	0,686	6,138
0,538	7,294	0,626	6,029	0,686	2,372
0,538	6,381	0,626	6,099	0,686	2,070
0,538	7,068	0,623	5,543	0,686	6,339
0,538	8,191	0,623	5,404	0,686	6,300
0,538	7,276	0,623	5,341	0,686	2,249
0,538	8,366	0,623	8,459	0,686	4,061
0,538	4,358	0,623	6,360	0,686	3,291
0,538	8,216	0,623	6,181	0,686	3,349

0,538	6,143	0,623	5,386	0,686	3,093
0,523	5,463	0,623	6,136	0,669	6,303
0,523	5,510	0,623	5,403	0,669	5,494
0,523	5,319	0,611	7,494	0,669	6,162
0,523	6,413	0,611	6,087	0,669	2,027
0,523	8,186	0,611	8,198	0,669	4,041
0,523	6,173	0,607	8,271	0,669	2,539
0,523	4,065	0,607	8,338	0,669	6,290
0,523	7,223	0,607	6,234	0,669	3,179
0,519	8,067	0,607	8,084	0,669	5,076
0,519	7,035	0,607	8,085	0,669	2,152
0,519	8,167	0,607	5,251	0,669	2,378
0,519	8,445	0,607	6,385	0,669	6,406
0,519	6,390	0,607	7,130	0,669	5,039
0,519	5,058	0,607	6,464	0,669	6,074
0,519	8,440	0,607	7,172	0,669	4,128
0,519	4,365	0,607	8,429	0,669	2,148
0,519	5,168	0,607	5,224	0,669	3,383
0,519	4,365	0,607	5,447	0,669	6,536
0,519	8,281	0,607	5,546	0,669	4,492
0,523	4,175	0,611	6,341	0,669	3,129
0,523	6,161	0,611	8,241	0,669	4,237
0,522	6,232	0,610	5,076	0,669	6,049
0,522	4,313	0,610	6,064	0,669	3,319
0,522	8,381	0,610	8,198	0,644	4,362
$\Sigma = 0,524$	$\Sigma = 6,352$	$\Sigma = 0,612$	$\Sigma = 6,689$	$\Sigma = 0,672$	$\Sigma = 4,394$