

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів і транспортних технологій**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
бакалавр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: «Модернізація виробничо-технічної бази СТО для забезпечення
можливості проведення ТО і ПР автомобілів обладнаних сучасними
паливними системами»

Виконав: студент групи ЗАГК – 23



Владислав МУЛШ

Керівник:



Руслана КОЛОДНИЦЬКА

Завідувач кафедри:



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент:



Дмитро Безгерський

Житомир – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: автомобілів і транспортних технологій

Освітній ступінь: «бакалавр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ

Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

«12» 02 2025р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня бакалавр
Муліша Владислава Руслановича

1.Тема роботи: «Модернізація виробничо-технічної бази СТО для забезпечення можливості проведення ТО і ПР автомобілів обладнаних сучасними паливними системами» затверджена наказом вищого навчального закладу від «29» травня 2025 року № 213/с

Керівник роботи: Руслана КОЛОДНИЦЬКА

2. Строк подання студентом завершеної роботи 09.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: нормативно-правові документи, результати спостережень, наукові літературні джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Конструкція систем живлення сучасних двигунів. 2. Зниження токсичності відпрацьованих газів. 3. Технологічний розрахунок. 4. Економічна частина. Загальні висновки та рекомендації. Список використаних джерел.

5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) – 9 слайдів.

Дата видачі завдання «12» 02 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

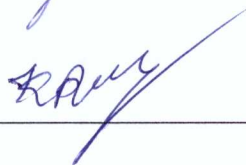
№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Дослідження літературних джерел та робіт щодо конструкції сучасних ДВЗ	17.02.2025	виконав
2.	Аналіз методів зниження токсичності відпрацьованих газів	24.02.2025	виконав
3.	Технологічний розрахунок СТО.	08.03.2025	виконав
4.	Визначення площі СТО	22.03.2025	виконав
5.	Проектування дільниці паливної апаратури.	05.04.2025	виконав
6.	Економічна ефективність від впровадження запропонованих рішень	19.04.2025	виконав
7.	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2025	виконав
8.	Рецензування	08.06.2025	виконав
9.	Захист	10-27.06.2025	виконав

Студент



Владислав МУЛІШ

Керівник роботи



Руслана КОЛОДНИЦЬКА

Анотація

Бакалаврської кваліфікаційної роботи Муліша Владислава Руслановича на тему: «Методи зниження токсичності відпрацьованих газів для автомобільного транспорту з ДВС»

Проведено аналіз вимог до сучасних систем паливоподачі дизельних двигунів. Досліджено процеси утворення паливо-повітряної суміші та визначення моменту початку впорскування палива. Проаналізовано параметри тиску та характеристик упорскування палива, а також напрям його подачі. Вивчено склад продуктів згоряння дизельного пального та їх вплив на навколишнє середовище. Розглянуто конструкцію та принцип роботи електронно-керованої системи живлення дизеля. Детально проаналізовано вузли системи Common Rail: дизельний насос DCP, клапан регулювання тиску (PCV), паливні форсунки, паливну рейку, датчик високого тиску. Досліджено будову і функціонування клапана EGR як ключового елементу зниження токсичності.

Проведено розрахунки виробничо-технічної бази СТО з урахуванням запровадження обслуговування автомобілів, обладнаних системами EGR та AdBlue.

Розраховано витрати на оплату праці персоналу, залученого до впровадження нових діагностичних підходів. Оцінено вартість основних фондів, необхідних для діагностики та обслуговування паливної системи. Проведено розрахунок прибутку від застосування вдосконаленої системи діагностики та обґрунтувати її економічну доцільність.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ СУЧАСНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	7
1.1 Вимоги до систем паливоподачі дизельних двигунів	7
1.2 Утворення паливо-повітряної суміші в дизельних двигунах	8
1.3 Момент початку впорскування та тиск подачі палива.....	10
1.4 Сучасні дизельні паливні системи: Common Rail, насос-форсунки	11
1.5 Електронне керування паливною системою	15
2 ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ.....	17
2.1 Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR)	17
2.1.1 Принцип роботи та конструкція	17
2.1.2 Вплив на зменшення оксидів азоту (NO _x)	20
2.1.3 Недоліки та вдосконалення системи EGR.....	22
2.2 Адитивна система AdBlue (SCR).....	24
2.2.1 Принцип дії і технологічна реалізація	24
2.2.2 Розрахунок нейтралізації відпрацьованих газів у системі AdBlue (SCR) ..	28
2.2.3 Зниження токсичних викидів завдяки AdBlue	35
2.3 Сажовий фільтр (DPF)	36
2.3.1 Конструкція та функції фільтра.....	36
2.3.2 Процес регенерації і очищення сажі	37
2.3.3 Вплив на зменшення викидів твердих часток.....	41
3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	44
3.1 Вихідні дані.....	44
3.2 Розрахунок річного обсягу робіт СТОА	45
3.3 Визначення кількості робочих постів	50
3.4. Розрахунок чисельності виробничого персоналу	51
3.5. Розрахунок площ виробничих та допоміжних приміщень	51
3.6. Визначення кількості автомобіле-місць очікування і зберігання	54
3.7. Розрахунок площі ділянки паливної апаратури та підбір обладнання	55

	4
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	57
4.1 Визначення затрат на оплату праці робітників	58
4.2 Визначення вартості основних фондів.....	60
ВИСНОВКИ.....	622
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	644

ВСТУП

Актуальність дослідження. Зростаюча кількість автомобілів із дизельними двигунами на дорогах України та світу призводить до значного збільшення викидів шкідливих речовин в атмосферу, що негативно впливає на стан навколишнього середовища та здоров'я населення. Дизельні двигуни, незважаючи на високу економічність і потужність, є джерелом оксидів азоту (NO_x), твердих часток (сажі), а також інших токсичних компонентів, які спричиняють забруднення повітря і сприяють розвитку респіраторних захворювань та екологічних катастроф.

У зв'язку з жорсткими екологічними нормами (Euro 6, Euro 7), що запроваджуються в усьому світі, виникає необхідність впровадження ефективних технологій і систем, які знижують токсичність відпрацьованих газів дизельних двигунів. Системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), селективного каталізаторного відновлення (AdBlue) та сажові фільтри (DPF) є одними з найперспективніших рішень, що дозволяють відповідати сучасним екологічним вимогам і забезпечують покращення екологічного стану.

Дослідження конструкцій сучасних дизельних паливних систем та екологічних пристроїв, аналіз їх впливу на зниження токсичності викидів мають велике практичне значення для підвищення екологічної безпеки автомобільного транспорту, а також для розвитку технологій, що відповідають світовим екологічним стандартам. Це сприяє не лише збереженню довкілля, а й покращенню якості життя населення, що є пріоритетним завданням сучасного суспільства.

Метою дослідження є розширення діяльності СТО для забезпечення технічного обслуговування і ремонту автомобілів обладнаних сучасними паливними системами і екологічними пристроями (EGR, AdBlue, сажовий фільтр).

Відповідно до мети визначено наступні **завдання**:

- проаналізувати сучасні конструкції паливних систем дизельних двигунів і їх вимоги до якості подачі палива;

- розглянути принципи роботи і технічні характеристики систем зниження токсичності відпрацьованих газів — EGR, AdBlue та сажового фільтра;
- розробити комплекс заходів щодо розширення діяльності СТО для обслуговування і ремонту автомобілів, обладнаних зазначеними системами;
- оцінити ефективність впровадження запропонованих рішень.

Методи дослідження. У процесі дослідження використовувалися такі методи: аналіз науково-технічної літератури, нормативних документів та стандартів у сфері екології та дизельних двигунів; порівняльний аналіз конструкцій і принципів роботи паливних систем і екологічних пристроїв (EGR, AdBlue, DPF); теоретичне моделювання процесів зниження токсичності відпрацьованих газів; огляд сучасних технологій та їх практичне застосування у автомобільній промисловості; систематизація та узагальнення отриманих даних для формування висновків.

1 КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ СУЧАСНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

1.1 Вимоги до систем паливоподачі дизельних двигунів

Сучасні дизельні двигуни повинні відповідати жорстким вимогам щодо потужності, паливної економічності, довговічності, а також нормам екологічної безпеки. У зв'язку з цим до систем паливоподачі висувається низка конструктивних, технологічних та експлуатаційних вимог, які забезпечують ефективне функціонування двигуна в різних режимах.

Насамперед, система подачі пального повинна забезпечувати високоточне дозування палива відповідно до навантаження та швидкісного режиму двигуна. Це дозволяє досягти оптимального процесу згоряння, мінімізувати викиди шкідливих речовин і знизити витрати пального.

Крім того, особливу увагу приділяють тиску впорскування – сучасні системи повинні забезпечувати надвисокий тиск (до 2000–2500 бар і більше), що дозволяє значно поліпшити диспергування палива в камері згоряння. Це, в свою чергу, сприяє повнішому згорянню та зменшенню кількості сажі у вихлопі.

Іншою ключовою вимогою є точне керування моментом початку впорскування та тривалістю подачі пального, що має здійснюватись у режимі реального часу з урахуванням показників численних сенсорів: температури охолоджувальної рідини, тиску повітря на впуску, обертів колінчастого вала тощо.

Сучасні системи паливоподачі повинні також забезпечувати багатофазне впорскування, включаючи попереднє, основне та додаткове (післявпорскування) для контролю температури згоряння, зменшення шуму та оптимізації роботи систем очищення вихлопних газів (сажових фільтрів, SCR та EGR).

Крім функціональних характеристик, до систем висуваються вимоги щодо надійності, корозійної стійкості, швидкої адаптації до умов

навколишнього середовища (температур, якості пального тощо) та здатності до самодіагностики й взаємодії з іншими електронними системами двигуна.

Важливим є і питання екологічної відповідності – системи паливоподачі повинні бути інтегровані з технологіями зниження токсичності відпрацьованих газів, зокрема системами EGR, фільтрами сажі (DPF), каталітичними нейтралізаторами та технологією селективного каталітичного відновлення (SCR) з використанням реагенту AdBlue.

Таким чином, сучасні системи паливоподачі дизельних двигунів повинні одночасно відповідати вимогам високої ефективності, точності, екологічної безпеки та надійності, що обумовлює складну будову та широку електронну інтеграцію їх елементів.

1.2 Утворення паливо-повітряної суміші в дизельних двигунах

У дизельних двигунах паливо-повітряна суміш утворюється безпосередньо в циліндрах під час такту стиснення. Спочатку в циліндр подається лише очищене повітря, яке при стисненні досягає високої температури. У цю гарячу атмосферу форсунка під високим тиском уприскує дрібнорозпилене паливо. Це забезпечує швидке змішування пального з повітрям та його самозаймання без додаткового джерела іскри (рис. 1.1).

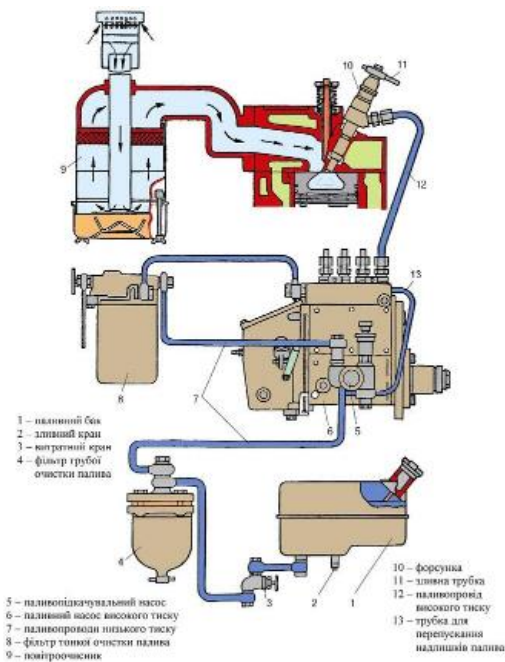


Рис. 1.1 – Загальна схема системи живлення паливного двигуна [16]

Система живлення містить паливний бак 1, фільтри грубої і тонкої очистки палива 4 і 8, паливопідкачувальний насос (помпу) 5, паливний насос високого тиску 6, форсунки 10 і паливопроводи низького і високого тиску 7 і 12. Повітря очищається у повітроочиснику 9.

Для якісного сумішоутворення необхідно, щоб паливо було добре розпилене, а навколо кожної частки знаходилась достатня кількість кисню для повного згоряння. Саме тому у дизельних двигунах кількість повітря перевищує теоретично необхідну (коефіцієнт надлишку повітря α становить 1,20—1,65).

Процес сумішоутворення в дизелі надзвичайно швидкий і складний, тому для його покращення застосовують:

- створення високого тиску упорскування (до 35 МПа), що дозволяє досягти швидкості струменя палива 150–400 м/с;
- точне узгодження форми камери згоряння з розміщенням і характеристиками паливних струменів;
- організацію інтенсивних турбулентних повітряних потоків у циліндрі для кращого перемішування;

- забезпечення однорідного та тонкого розпилу палива;
- введення надлишкової кількості повітря для повного згоряння пального.

Підвищення ефективності сумішоутворення дозволяє підвищити середній ефективний тиск, літрову потужність двигуна і зменшити витрату палива. Одним із засобів досягнення цього є наддув, особливо турбонадув, який дозволяє збільшити щільність заряду повітря за рахунок використання енергії відпрацьованих газів. Це дає змогу збільшити подачу палива і підвищити потужність двигуна на 35–50% при одночасному покращенні економічності на 4–6%.

1.3 Момент початку впорскування та тиск подачі палива

Для забезпечення ефективного згоряння палива в дизельному двигуні надзвичайно важливими є правильно вибраний момент початку впорскування палива та необхідний тиск подачі.

Момент початку впорскування — це фаза, коли форсунка починає подавати паливо у камеру згоряння. Його визначають у градусах кута повороту колінчастого вала до (або після) верхньої мертвої точки (ВМТ). Зазвичай упорскування починається за 20–30° до ВМТ. Занадто раннє впорскування може призвести до жорсткої роботи двигуна, перевантаження деталей і збільшення викидів, тоді як надто пізнє — до зниження потужності, підвищеної витрати палива і задимленості відпрацьованих газів.

Момент упорскування регулюється залежно від режиму роботи двигуна: при збільшенні частоти обертання й навантаження паливо впорскується раніше, щоб забезпечити повне згоряння.

Тиск подачі палива також має вирішальне значення. Чим вищий тиск, тим краще розпилюється паливо, утворюючи дрібнодисперсний струмінь, що швидше випаровується і рівномірніше змішується з повітрям. У сучасних

дизельних двигунах використовуються системи з тиском упрскування від 20 до 200 МПа (у системах Common Rail — до 250 МПа і вище).

Високий тиск забезпечує:

- кращу якість сумішоутворення;
- повніше згоряння палива;
- зменшення токсичності відпрацьованих газів;
- зниження питомої витрати палива.

Таким чином, оптимальне поєднання моменту початку впрскування і тиску подачі палива є запорукою ефективної, економічної та екологічно чистої роботи дизельного двигуна.

1.4 Сучасні дизельні паливні системи: Common Rail, насос-форсунки

Двигуни з системою подачі дизельного палива Common Rail (Рис. 1) з значним пробігом важко запустити через несправність хоча б одного елемента чи діагностичного параметра даної системи, одними з яких являються п'єзофорсунки, ПНВТ, підкачуючий насос та такого з основних параметрів як тиск палива. Тиск перевіряють манометрами, низький - механічним, зі шкалою до 10 бар, а високий - спеціальним приладом з спеціальними насадками і діапазоном не нижче 2000 бар. А для вимірювання кількості палива, що зливається з форсунок необхідний стенд для перевірки форсунок та насосів високого тиску.

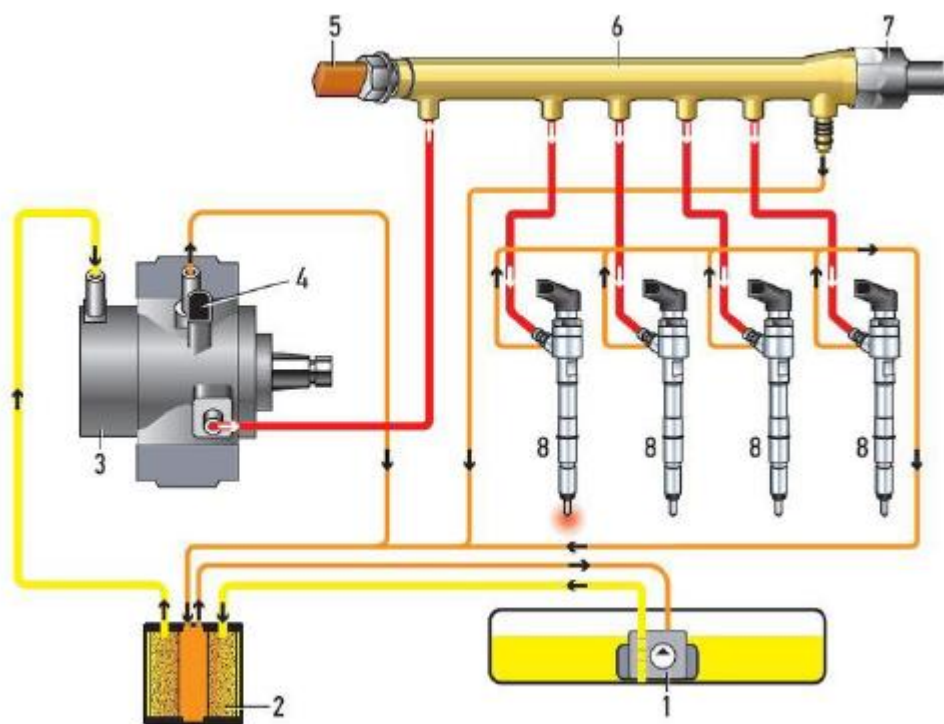


Рис. 1.2 – Система подачі палива [9]

1- Паливопідкачуючий насос; 2 – Паливний фільтр; 3 – ПНВТ; 4 – Клапан дозування; 5 – Датчик тиску палива; 6 – Паливна рампа; 7 – Регулятор тиску палива; 8 – Форсунки.

Розвиток системи Common Rail відбувається шляхом збільшення тиску впорскування:

- перше покоління – 140 МПа, з 1999 року;
- друге покоління – 160 МПа, з 2001 року;
- третє покоління – 180 МПа, з 2005 року;
- четверте покоління – 220 МПа, з 2009 року.

Чим вищий тиск у системі впорскування, тим більше палива можна впорскувати в циліндр за рівний проміжок часу і, відповідно, реалізувати більшу потужність двигуна.

Таблиця 1.1 – Позначення системи [19]

Автовиробник	Позначення системи	Модель авто
BMW	D-серія	BMW 320D
Cummins	XPI та CCR	Моделі КамаЗ
Daimler AG	CDI та CRD	Mercedes-Benz E220 CDI
Fiat	MultiJet, JTDm, Ecotec CDTi, TiD, TTiD, DDiS, Quadra-Jet	
Ford Motor	TDCi Duratorq та Powerstroke	Ford Fusion 1.4 TDCi
General Motors	CDTi	Opel Antara 2.0 CDTI
Isuzu	DTi	
Honda	i-CTDi	Honda Civic 2.2 i-CTDi
Hyundai	CRDi	Hyundai Accent 1.5 CRDi VGT
Land Rover	TD4	Land Rover Freelander II 2.2 TD4
Mahindra	CRDe	
Maruti Suzuki	DDiS (по ліцензії Fiat)	Suzuki Swift 1.3 DDiS
Mazda	CiTD	Mazda 6 2.0 CiTD
Mitsubishi	DI-D	Mitsubishi Pajero 3.2 DI-D
Nissan	dCi	Nissan Primastar 1.9 dCi
PSA Peugeot Citroën	HDI або HDi	Citroën C8 2.2 HDI
Renault	dCi	Renault Megane 1.5 dCi
SsangYong	XDi	SsangYong Rexton 2.7 Xdi
Subaru	TD	Subaru Impreza 2.0 TD
Tata	DICOR	Tata Xenon Double Cabine 2.2 Dicor

Діагностичним сканером можна побачити відносний технічний стан паливних форсунок і ПНВТ, а саме: тиск, об'єм впорскування палива. Якщо сканером було виявлено несправність у вигляді різниці допустимого значення відхилення і граничного, тому в такому випадку елементи паливної системи потрібно демонтувати з автомобіля і продіагностувати на стаціонарному діагностичному стенді, де реально вже більш детальніше і досконаліше виявити несправності і якщо є можливість то усунути їх.

Форсунки, які вийшли з ладу необхідно замінювати новими комплектом. Характеристики кожної нової форсунки потрібно прописати в пам'ять Електронному блоку керування (ЕБУ), бо форсунок з однаковою продуктивністю не існує. Різниця - не тільки погано відбивається на рівномірності роботи двигуна і його динамічних навантаженнях, але і погіршує експлуатаційні характеристики автомобіля. Хоча в кожному ЕБУ присутня динамічна адаптація (постійне коректування циклової подачі палива для рівномірної роботи мотора), потрібно пам'ятати, що вона не може підмінити кодування, якщо її, забули записати.

Одна з основних причин всіх несправностей паливної системи типу Common Rail дизельного двигуна так чи інакше пов'язана з низькоякісним паливом. Як правило, з ладу виходять паливні форсунки, ТНВД або підкачувальні насоси, точніше металеві елементи, які в них труться між собою. Для визначення несправностей, проводять комп'ютерну діагностику, зчитують коди несправностей, проводять перевірку параметрів роботи елементів дизельного впорскування. В ході комплексного проведення діагностичних робіт визначаються причини виходу з ладу дизельного впорскування.

Існує певна кількість основних структурних параметрів даної паливної системи, від яких так чи інакше залежить ідеальна робота двигуна, такі як: - несправність регулятора тиску палива, -працездатність п'єзо-форсунки, - підкачуючого насоса, -технічний стан паливного фільтра тонкої очистки, - заряд акумуляторної батареї, - герметичність паливної системи тісно пов'язані з діагностичними параметрами, якими можна керуватися, щоб продіагностувати той чи інший структурний параметр. До діагностичних параметрів входять: - тиск палива в паливному акумуляторі, - напруга бортової мережі, - час відкриття паливної форсунки, - тиск палива в загальному паливному проводі, - витрата повітря і т.д.

1.5 Електронне керування паливною системою

Електронне керування паливною системою дизельного двигуна є однією з ключових складових сучасної технології забезпечення ефективного, економічного та екологічно безпечного функціонування силових агрегатів. На відміну від традиційних механічних систем, електронні системи керування базуються на використанні мікропроцесорної техніки, яка дозволяє з високою точністю регулювати основні параметри паливоподачі в реальному часі.

Центральним елементом такої системи є електронний блок керування (Electronic Control Unit, ECU), який отримує інформацію від низки сенсорів, що контролюють робочі параметри двигуна. Серед них найбільш значущими є:

- датчик положення колінчастого вала (для визначення моменту упорскування);
- датчик положення розподільного вала (для фазування роботи клапанів);
- датчик температури охолоджувальної рідини;
- датчик масової витрати повітря;
- датчик тиску у впускному колекторі;
- датчик положення педалі акселератора.

На підставі аналізу отриманих даних електронний блок формує керуючі сигнали, що забезпечують оптимальну тривалість відкриття форсунок, регулювання тиску впорскування палива, а також реалізацію багатofазного впорскування (включаючи попереднє, основне та післявпорскування). Таким чином досягається максимально ефективне згоряння паливно-повітряної суміші при зниженні рівня токсичних викидів, шуму та вібрацій.

Особливої уваги заслуговує система Common Rail, яка є найпоширенішим рішенням у сучасних дизельних двигунах. У даній системі паливо нагнітається до високого тиску в спільну магістраль (рейку), звідки воно дозовано подається до електромагнітних або п'єзoeлектричних форсунок під керуванням ECU. Це забезпечує незалежність тиску впорскування від частоти обертання двигуна, що суттєво підвищує точність і стабільність процесу подачі палива.

Запровадження електронного керування дозволяє реалізовувати:

- адаптивні алгоритми керування паливоподачею залежно від навантаження, температури та інших експлуатаційних умов;
- оптимізацію згоряння для досягнення високого ККД;
- зниження питомої витрати палива;
- відповідність сучасним екологічним стандартам (EURO-5, EURO-6);
- функції самодіагностики, які значно спрощують технічне обслуговування двигуна.

Таким чином, електронне керування паливною системою є не лише засобом підвищення техніко-економічних показників дизельного двигуна, але й необхідною умовою для інтеграції силових агрегатів у більш складні транспортні та промислові системи із застосуванням інтелектуальних технологій.

2 ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

2.1 Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR)

2.1.1 Принцип роботи та конструкція

Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) - це механізм, який повертає частину відпрацьованих газів з вихлопної системи назад у впускний колектор, щоб знизити кількість токсичних речовин, особливо оксидів азоту, у вихлопних газах. Основна мета EGR - зменшити температуру згоряння, тим самим знижуючи рівень оксидів азоту.

Таблиця 2.1 - Основні конструктивні елементи системи EGR [19]

Елемент системи EGR	Функція	Особливості / Типи
EGR-клапан	Регулює кількість відпрацьованих газів, що повертаються до впускного колектора	Може бути вакуумним (механічним) або електронно-керованим
Трубопроводи рециркуляції	Забезпечують з'єднання між випускною і впускною системами двигуна	Мають бути термостійкими і стійкими до корозії
Охолоджувач (теплообмінник) EGR	Знижує температуру відпрацьованих газів перед їх повторним впуском	Підвищує ефективність зменшення оксидів азоту (NO_x)
Датчики температури, тиску, положення клапана	Збирають дані про параметри роботи EGR для аналізу в ECU	Забезпечують точне керування, контроль функціонування і виявлення несправностей
Електронний блок керування (ECU)	Аналізує дані від датчиків та керує EGR-клапаном	Оптимізує роботу EGR залежно від режимів роботи двигуна

Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) є складним комплексом взаємопов'язаних компонентів, кожен з яких виконує важливу функцію у зменшенні емісії оксидів азоту (NO_x) та підвищенні екологічності

двигуна. Ключову роль відіграє EGR-клапан, робота якого координується електронним блоком керування (ECU) на основі даних від численних датчиків.



Рис. 2.1 - Ліворуч – новий клапан EGR, праворуч – клапан EGR при пробігові орієнтовно 150 000 км [11]

Наявність охолоджувача газів значно підвищує ефективність системи. Узгоджена робота всіх елементів забезпечує точне регулювання складу повітряно-паливної суміші, що дозволяє досягати вимог сучасних екологічних стандартів без істотного зниження потужності двигуна.

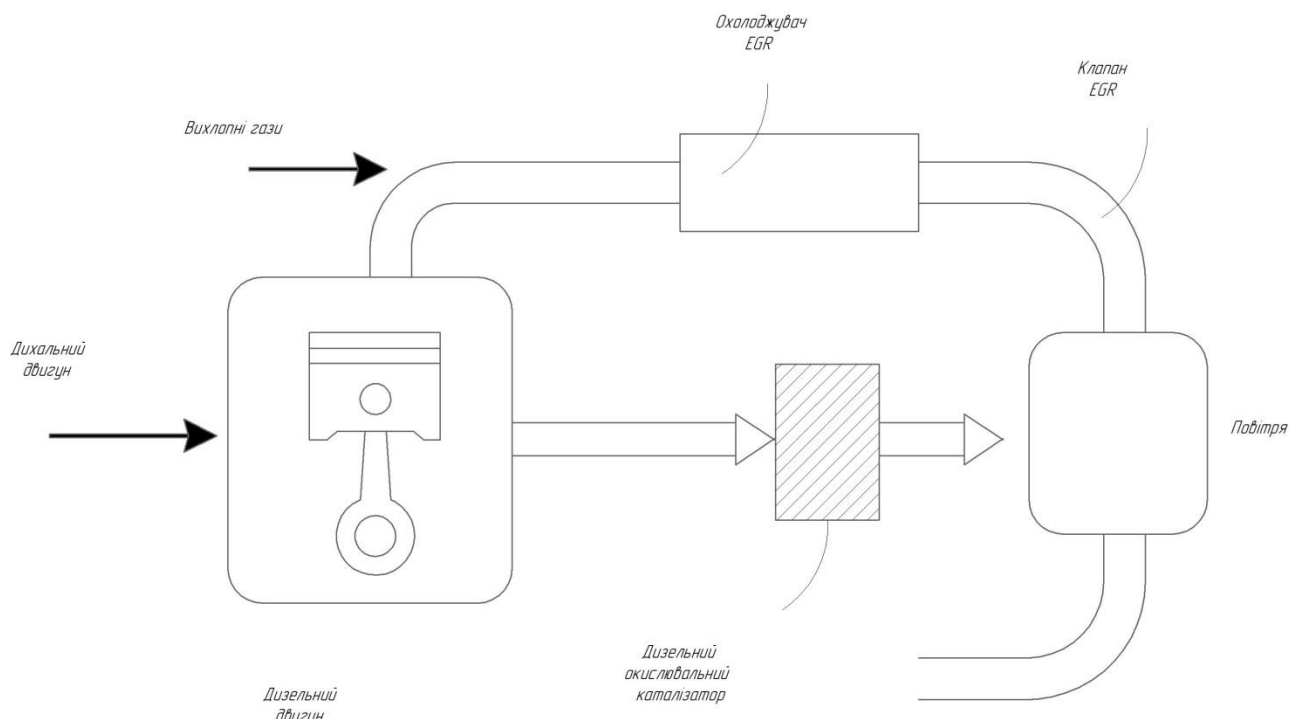


Рис. 2.2 – принципова схема роботи системи EGR

Основний принцип роботи EGR подавати в камеру не атмосферне повітря, а повернути вже «відпрацьоване», в якому менше кисню. За це відповідає система рециркуляції: вона підмішує вихлопні гази до свіжої порції впуску. І хоча вихлоп сам по собі гарячий, це дозволяє знизити температуру горіння, зменшити кількість оксидів азоту та уникнути детонації.

Таблиця 2.2 - Основні типи систем EGR [17]

Критерій	EGR високого тиску (High Pressure EGR)	EGR низького тиску (Low Pressure EGR)
Місце забору відпрацьованих газів	До турбонагнітача (відразу після випускного колектора)	Після турбіни та після систем очищення (наприклад, сажового фільтра)
Місце повернення газів	Безпосередньо у впускний колектор	До компресора турбонагнітача
Температура відпрацьованих газів	Вища (гарячі гази)	Нижча (охолоджені після фільтрації)
Необхідність у	Обов'язкова для зниження	Часто наявна, але менші теплові

теплообміннику	температури газів	навантаження
Складність у реалізації	Простішою конструкцією, але з високими вимогами до термостійкості	Складніша в реалізації через необхідність очищення газів
Застосування	Частіше в дизельних двигунах малої потужності	У сучасних дизелях із системами доочистки, високий екостандарт
Переваги	Швидке реагування, ефективно на низьких обертах	Краща сумісність із турбонагнітачем і системами очищення
Недоліки	Високе теплове навантаження, можливе нагароутворення	Вища складність інтеграції, потреба в очищенні від сажі

Управління системою EGR здійснюється електронним блоком керування двигуном, який координує її роботу залежно від умов навантаження, обертів, температури двигуна, рівня тиску та інших параметрів. Такий підхід забезпечує динамічну адаптацію системи до поточних умов експлуатації, дозволяючи досягти як екологічної ефективності, так і оптимальної продуктивності двигуна.

Завдяки своїй функціональності, система EGR є однією з ключових технологій, що дозволяють сучасним двигунам відповідати суворим міжнародним нормам з екології (EURO-5, EURO-6), зменшуючи при цьому навантаження на каталізатори та системи доочистки вихлопних газів.

2.1.2 Вплив на зменшення оксидів азоту (NO_x)

Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) відіграє ключову роль у зменшенні утворення оксидів азоту в процесі згоряння палива. Основний механізм дії полягає у зниженні температури згоряння в камері згоряння за рахунок повторного введення частини відпрацьованих газів у впускний тракт. Ці гази не містять кисню, тому вони витісняють частину свіжого повітря, знижуючи концентрацію кисню в суміші. Це, своєю чергою, призводить до менш інтенсивного згоряння і, відповідно, до зменшення пікових температур у циліндрі.

Таблиця 2.3 - Механізм зниження утворення оксидів азоту за допомогою EGR [21]

Фактор	Вплив EGR
Температура згоряння	Зменшується за рахунок зниження концентрації кисню та теплоємності газів
Концентрація кисню в камері	Знижується через підмішування інертних газів
Швидкість реакцій утворення NO _x	Зменшується через меншу температуру та об'єм кисню
Рівень утворення NO _x	Значно знижується у порівнянні з двигунами без EGR
Загальна токсичність вихлопу	Покращується, особливо при роботі двигуна в режимах часткового навантаження

Саме при високих температурах (вище 2 000 °C) найбільш інтенсивно утворюються оксиди азоту, тож зменшення температурного піку дозволяє ефективно знижувати їх концентрацію у вихлопі. Додатково застосування охолоджувача EGR ще більше підсилює цей ефект.

Таким чином, система EGR дозволяє зменшити емісію NO_x до 50% і більше, залежно від типу двигуна, режимів роботи та конструкції системи. Вона є одним із ключових засобів відповідності сучасним нормам викидів, таким як Euro 5 та Euro 6.

Таблиця 2.4 - Порівняння ефективності EGR із іншими технологіями зменшення NO_x [11]

Технологія зниження NO _x	Принцип дії	Ефективність зниження NO _x	Переваги	Недоліки
EGR (рециркуляція відпрацьованих газів)	Зниження температури згоряння через повторне використання	30–60%	Проста інтеграція, дієва при частковому навантаженні	Впливає на ефективність згоряння, сажоутворення

	газів			
SCR (селективне каталітичне відновлення)	Хімічна нейтралізація NO _x за допомогою сечовини (AdBlue)	70–95%	Висока ефективність при повному навантаженні	Додаткові витрати, потреба в реагенті
NO _x -аккумулятори (NSR)	Збереження NO _x в поглиначі з подальшим відновленням	40–80%	Компактність, ефективність у міському циклі	Чутливість до якості пального, складна регенерація

Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) відіграє важливу роль у зменшенні викидів оксидів азоту (NO_x), насамперед за рахунок зниження температури згоряння та концентрації кисню в камері згоряння. За даними таблиць, EGR забезпечує зниження NO_x у межах 30–60%, що робить її ефективною при часткових навантаженнях і в умовах міського циклу.

Разом із тим, порівняльний аналіз свідчить, що інші технології, зокрема селективне каталітичне відновлення (SCR), демонструють вищу ефективність (до 95%) при повному навантаженні, але потребують додаткових ресурсів (реагентів, обслуговування). Таким чином, оптимальною стратегією екологізації сучасних двигунів є комплексне використання EGR у поєднанні з іншими системами зниження NO_x залежно від режимів експлуатації.

2.1.3 Недоліки та вдосконалення системи EGR

Незважаючи на екологічну ефективність системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), її використання пов'язане з рядом експлуатаційних та технічних недоліків, які обумовлюють необхідність постійного вдосконалення конструкції та принципів роботи.

Таблиця 2.5 - Основні недоліки системи EGR [7]

№	Недолік	Суть проблеми
1	Підвищення сажоутворення	Через зниження температури згоряння зростає кількість часток сажі, що ускладнює роботу фільтра твердих часток (DPF).
2	Забруднення впускного колектора	Суміш відпрацьованих газів і оливного туману спричиняє відклади на стінках впускного тракту, що знижує ефективність двигуна.
3	Корозія елементів	Волога, присутня у відпрацьованих газах, в поєднанні з високими температурами викликає корозійне руйнування металевих компонентів.
4	Зниження ефективності при повному навантаженні	У режимі повного навантаження рециркуляція може погіршувати характеристики згоряння та динаміку двигуна.
5	Ускладнення конструкції	Сучасні системи EGR включають охолоджувачі, датчики та електроніку, що збільшує вартість і складність обслуговування.

Система EGR, хоча й ефективно знижує рівень викидів оксидів азоту (NO_x), має низку конструктивних та експлуатаційних недоліків, що обмежують її ефективність у довгостроковій перспективі. Основні проблеми пов'язані із підвищеним утворенням сажі, забрудненням впускного тракту, корозією компонентів і зниженням потужності двигуна у певних режимах роботи. Крім того, складність конструкції та необхідність регулярного обслуговування підвищують витрати на експлуатацію. Ці чинники зумовлюють необхідність модернізації системи EGR та інтеграції її з іншими екологічними технологіями.

Таблиця 2.6 - Напрями вдосконалення системи EGR [11]

№	Напрямок	Очікуваний ефект
1	Впровадження електронно-керованих клапанів нового покоління	Точніше регулювання об'ємів рециркуляції залежно від режиму роботи двигуна.
2	Інтеграція з охолоджувачем EGR з нержавіючої сталі або кераміки	Підвищення термостійкості та зменшення корозійних ушкоджень.

3	Оптимізація форм трубопроводів	Зниження ризику накопичення сажі та зменшення опору потоку.
4	Комбіноване застосування з технологією SCR	Підвищення загальної ефективності зниження NO_x при збереженні економічності.
5	Використання алгоритмів самодіагностики та очищення	Зниження витрат на сервісне обслуговування та покращення надійності.

Напрями вдосконалення системи EGR спрямовані на підвищення її ефективності та надійності при одночасному зниженні негативних наслідків на двигун. Використання більш досконалих матеріалів і конструктивних рішень дозволяє зменшити накопичення сажі та корозію, покращити контроль за кількістю рециркульованих газів завдяки електронному керуванню. Впровадження охолоджувачів відпрацьованих газів підвищує ефективність зменшення NO_x , а інтеграція з іншими системами очищення вихлопних газів, такими як сажові фільтри та каталітичні нейтралізатори, забезпечує комплексний підхід до зниження шкідливих викидів. Ці удосконалення сприяють підвищенню екологічності та експлуатаційної надійності дизельних двигунів.

2.2 Адитивна система AdBlue (SCR)

2.2.1 Принцип дії і технологічна реалізація

Система селективного каталітичного відновлення (SCR, Selective Catalytic Reduction) із використанням реагенту AdBlue є одним із найефективніших способів зменшення викидів оксидів азоту (NO_x) у дизельних двигунах. Принцип її дії полягає у впорскуванні водного розчину карбаміду (AdBlue) у потік відпрацьованих газів перед каталізатором SCR. Під впливом високої температури AdBlue розкладається на аміак (NH_3) і вуглекислий газ (CO_2). Аміак у каталізаторі вступає в реакцію з оксидами азоту, перетворюючи їх у нешкідливі азот (N_2) та водяну пару (H_2O).

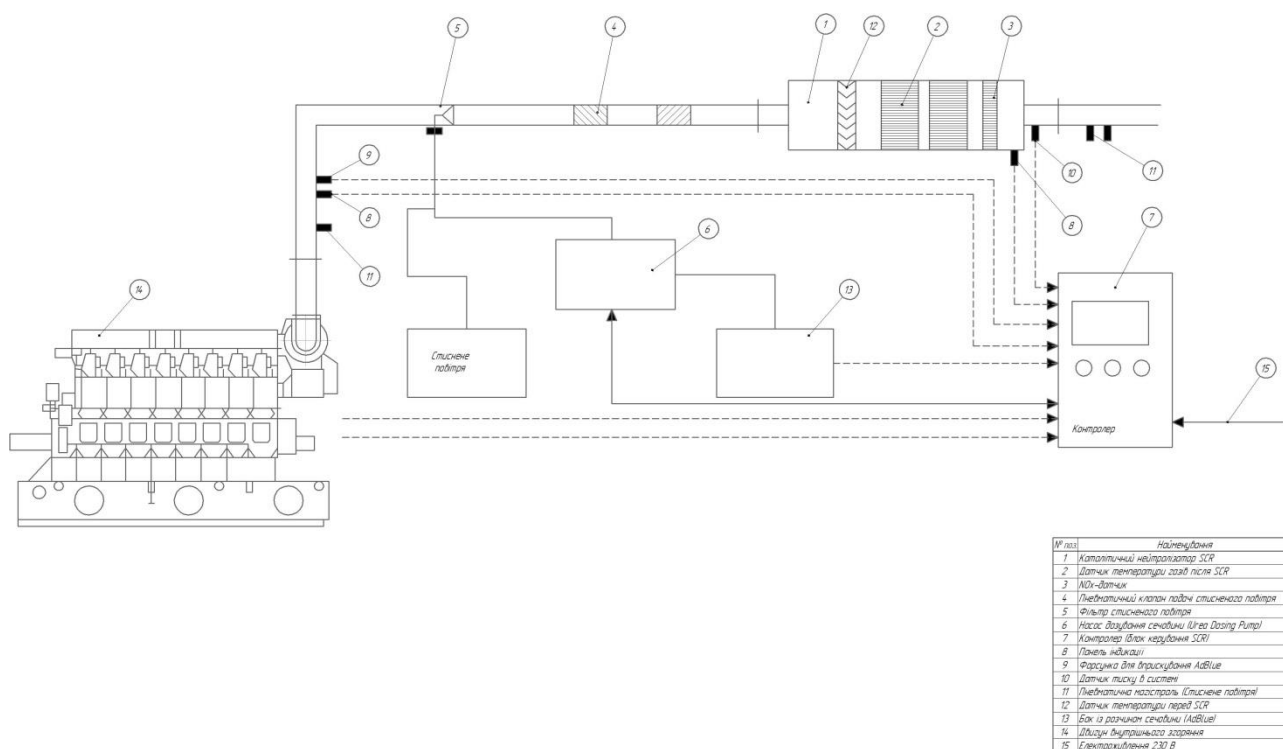


Рис. 2.3 – Принципова схема AdBlue

Блок управління отримує сигнал від датчика рівня AdBlue у баку про те, що рівень розчину AdBlue перевищує встановлений мінімальний поріг. Блок управління активує гідророзподільник і запускає насос, який відкачує розчин AdBlue з бака через фільтр і гідророзподільник. Потім насос подає розчин AdBlue через гідророзподільник до фільтра AdBlue і далі до блоку дозування на глушнику.

За дотримання певних критеріїв (наприклад, датчик тиску вимірює робочий тиск у системі дозування AdBlue, і його значення становить близько 5 бар) блок управління двигуном передає сигнал (який вказує кількість AdBlue) на блок управління, який відкриває дозуючий клапан. Розчин AdBlue впорскується у вихлопну трубу перед глушником із вбудованим каталізатором-нейтралізатором.

Одночасно відкривається розподільний клапан охолоджуючої рідини, і надлишок AdBlue зливається назад у бак. Датчик якості рідини AdBlue вимірює вміст окислів азоту у відпрацьованих газах. Якщо допустимий рівень

токсичності не забезпечується — на панелі приладів загоряється сигнальна лампа, і в блоці управління двигуном фіксується код несправності.

Датчик температури відпрацьованих газів служить для вимірювання температури газів з метою подачі належної кількості розчину AdBlue у відпрацьовані гази. Через чутливість розчину AdBlue до низьких температур бак підігрівається нагрівальним контуром, у якому циркулює охолоджуюча рідина. Подаючі та зворотні шланги на баку підігріваються електрично.

Датчик температури безперервно контролює температуру розчину і подає сигнал на блок управління, якщо температура падає нижче 10 °C. У такому випадку блок управління активує електромагнітний клапан, який пропускає гарячу охолоджуючу рідину з двигуна в контур підігріву бака AdBlue. Коли температура досягає 15 °C — датчик дає сигнал блоку управління (8), який закриває клапан і вимикає підігрів.

Розчин AdBlue замерзає при -11 °C. Стандартна система може бути розморожена при температурі не нижче -40 °C. Щоб уникнути пошкоджень системи від розширення, що супроводжує замерзання, після вимкнення запалювання проводиться автоматичне спорожнення системи.

Витрата AdBlue змінюється залежно від умов руху. Якщо в розчині залишається близько 10 % від корисного об'єму — генерується повідомлення про необхідність доливання. Якщо у баку залишається мінімально допустима кількість, а розчин AdBlue не додано, датчик рівня, розташований у баку, подає сигнал на закриття дозуючого клапана. Впорскування AdBlue у вихлопну трубу припиняється.

Розподільний клапан охолодження відкривається, і залишок розчину у баку починає циркулювати, охолоджуючи дозуючий клапан. На панелі приладів загоряється сигнальна лампа.



Рис. 2.4 – Сигнальна лампа на панелі приладів [7]

У цьому випадку в ЕБУ фіксується код несправності, генерується повідомлення про порожній бак, а залишок AdBlue продовжує циркулювати в системі для її охолодження. Код несправності зберігається в пам'яті ЕБУ. Після доливання AdBlue повідомлення про несправність зникає, але код несправності залишається та доступний для зчитування. Таким чином зберігається інформація про тривалість роботи двигуна з несправною системою очищення газів.

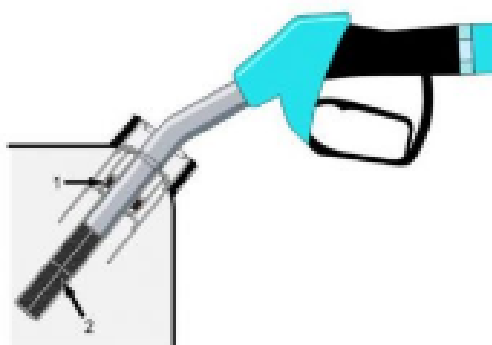


Рис. 2.5 – Заливка AdBlue [9]

Для уникнення помилок при заправці конструкція горловини та наливного патрубку передбачає використання лише спеціального заправного обладнання. Щоб не переплутати паливний бак із баком AdBlue, останній оснащений синьою кришкою, табличкою AdBlue, а також горловина AdBlue відрізняється за діаметром від паливної. Наливний патрубок AdBlue обладнаний магнітним кільцем, завдяки якому заправна форсунка відкривається лише при виявленні цього кільця в баку. На деяких баках у

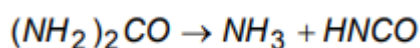
горловині встановлений сітчастий фільтр, який слід регулярно перевіряти та очищувати за потреби. Мінімальна кількість розчину AdBlue, необхідна для запуску заблокованого двигуна, становить 5–6 літрів.

2.2.2 Розрахунок нейтралізації відпрацьованих газів у системі AdBlue (SCR)

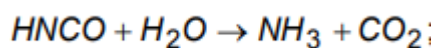
Розглянемо процеси, що відбуваються під час нейтралізації відпрацьованих газів у системі SCR. Умовно весь процес складається з трьох стадій: термолізу, гідролізу та каталітичної нейтралізації.

Хімічні процеси протікають так:

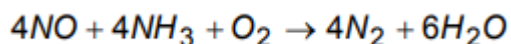
термоліз:



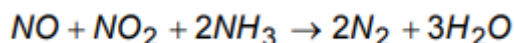
гідроліз:



каталітична нейтралізація при температурі понад 250 °C:



каталітична нейтралізація при температурі 170...300 °C:



Для нейтралізації викидів NO_x (NO, NO₂) потрібно приблизно застосувати 1/2 сечовини (за масою). Молекулярна маса оксиду азоту становить 30 г/моль.

Молекулярна маса сечовини $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$ становить 60 г/моль. З урахуванням відносин молекулярних мас оксиду азоту та сечовини, для нейтралізації 1 кг NO потрібно використовувати 1 кг сечовини.

AdBlue – це водний розчин, що складається з 32,5 % високоочищеної сечовини та 67,5 % демінералізованої води (за вагою). Щільність сечовини становить 1,32 г/см³. Щільність рідини AdBlue при температурі 20 °С - 1,087...1,093 г/см³. Тоді на нейтралізацію 1 кг NO необхідно застосувати 2,82 л речовини AdBlue. Для визначення кількості викидів шкідливих речовин NO_x можна скористатися формулою [6]:

$$Q'_{NO} = 0.0548 \cdot M_X \cdot \rho_T \cdot (A_2 + B_2 \cdot N_1 + C_2 \cdot N_1^2) \cdot Q \cdot \alpha \quad (\text{г/км})$$

де M_X – молекулярна маса шкідливої речовини, г/моль;

ρ_T – щільність палива, г/см³;

A_2, B_2, C_2 – постійні коефіцієнти, що залежать від типу встановленого на автомобілі двигуна та виду шкідливої речовини;

N_1 – відсоток використання потужності, %;

Q – витрата палива, л/100 км;

α – коефіцієнт надлишку повітря. Для визначення витрати палива скористаємося методикою [7].

$$Q = \frac{100 \cdot K_{ш} \cdot M_a}{H_H \cdot \rho_m \cdot \eta_a} \quad \text{л/100 км}$$

де $K_{ш}$ – шум прискорення, м/с²,

M_a – маса автомобіля, кг;

η_a – ККД автомобіля;

H_H – нижча теплота згоряння, кДж/кг.

Шум прискорення обчислюється за формулою:

$$K_{ш} = (g \cdot i + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2 / M_a)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

i - ухил дороги;

V_a - середня технічна швидкість руху автомобіля, км/год ;

M_a - маса автомобіля, кг ;

Для викидів оксидів азоту NO_x приймаємо такі молекулярні значення маси M_x та коефіцієнтів A_2 , B_2 , C_2 [8]: $M_x = 30 \text{ г/моль}$, $A_2 = 0.02$, $B_2 = 2.3 \cdot 10^{-3}$, $C_2 = -4 \cdot 10^{-6}$.

Коефіцієнт надлишку повітря визначається за такою спрощеною формулою:

$$\alpha = a_1 + b_1 \cdot N_1,$$

де a_1 і b_1 - емпіричні коефіцієнти, що залежать від типу встановленого на автомобіль двигуна. Для автомобілів із дизельним двигуном: $a_1 = 5$, $b_1 = -0.035$.
тоді:

$$\alpha = 5 - 0.035 \cdot N_1.$$

Відсоток використання потужності можна розрахувати так:

$$N_1 = \frac{100 \cdot (G_a \cdot \psi \cdot V_a + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{3.6 \cdot 10^3 \cdot N_{e\max} \cdot \eta_{\text{тр}}} \quad (\%)$$

де $N_{e\max}$ - максимальна потужність двигуна автомобіля, кВт ;

G_a - вага автомобіля, Н ;

$\eta_{\text{тр}}$ - ККД трансмісії;

ψ - коефіцієнт сумарного дорожнього опору руху автомобіля.

Значення ККД автомобіля розраховуються за методикою [9].

Для спрощення розрахунків у діапазоні швидкостей від 40 ... 70 км/год можна ККД автомобіля приймати величиною постійною.

Проведемо розрахунки рідини з прикладу автобуса IVECO Crossway Line. Для цього автомобіля приймаємо такі технічні дані [10]:

$$G_a = 118455 \text{ Н};$$

$$M_a = 12075 \text{ кг};$$

$$\eta_{\text{тр}} = 0.9;$$

$$k_F = 6,133 \text{ Нс}^2 / \text{м}^2 ;$$

$$V_a = 50 \text{ км/год.};$$

$$\psi = 0,02;$$

$$i = 0,01;$$

$$N_{\text{емax}} = 265 \text{ кВт};$$

$$H_H = 43000 \text{ кДж/кг};$$

$$\rho_T = 0,825 \text{ г/см}^3$$

За формулою (7) визначаємо відсоток використання потужності

$$N_1 = \frac{100 \cdot (118455 \cdot 0.02 \cdot 50 + 0.077 \cdot 6.133 \cdot 50^3)}{3.6 \cdot 10^3 \cdot 265 \cdot 0.9} = 20.67 \%$$

За формулою (6) розраховуємо коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = 5 - 0.035 \cdot 20.67 = 4.28$$

За формулою (4) визначаємо шум прискорення

$$K_{\text{ш}} = (9.81 \cdot 0.01 + 0.077 \cdot 6.133 \cdot 50^2 / 112075) = 0.196 \text{ м/с}^2.$$

За формулою (3) визначаємо витрату палива

$$Q = \frac{100 \cdot 0.196 \cdot 12075}{43000 \cdot 0.825 \cdot 0.2} = 33.4 \text{ л/100 км.}$$

За формулою (2) на 100 км шляху у відпрацьованих газів автомобіля утворюється така кількість оксидів азоту NO_x :

$$Q' = 0.00548 \cdot 30 \cdot 0.825 \cdot (0.02 + 2.3 \cdot 10^{-3} \cdot 20.67 - 4 \cdot 10^{-6} \cdot 20.67^2) \cdot 33.4 \cdot 4.28 = 1.28 \text{ кг/100 км.}$$

Оскільки нейтралізація оксидів азоту не відбувається на холостому режимі роботи двигуна внутрішнього згоряння, а також на режимах, коли відпрацьовані гази не досягли необхідної температури, то зменшимо розрахунки на 50 %.

Визначаємо витрату речовини AdBlue за формулою:

$$H_{\text{AdBlue}} = 1.41 \cdot Q'_{\text{NO}} = 1.41 \cdot 1.28 = 1.8 \text{ л/100 км.}$$

Запропоновано прийняти норму витрати речовини

$$\text{AdBlue} - H_{\text{AdBlue}} = 1.8 \text{ л/100 км.}$$

Для автобуса IVECO Crossway Line за формулами (2), (5) та (7) отримаємо залежність витрати речовини AdBlue від витрати палива:

$$H_{\text{AdBlue}} = 0.054 \cdot Q.$$

Згідно з рекомендаціями [4] для автомобілів, що відповідають нормам токсичності Євро-5, витрата речовини AdBlue становить 6% від витрат палива. Тоді:

$$H_{\text{AdBlue}} = 0.06 \cdot Q = 0.06 \cdot 33.4 = 2.0 \text{ л/100 км.}$$

Похибка становила 10%.

Для завантаженого IVECO Crossway Line повна маса складе $M_a = 19300$ кг. Тоді: $N_1 = 28.9 \%$, $\alpha = 3.99$; $K_{\text{ш}} = 0.159 \text{ м/с}^2$; $Q = 43,2 \text{ л/100 км}$; $Q^i = 1.95 \text{ кг/100 км}$. Витрата речовини AdBlue $H_{\text{AdBlue}} = 2,75 \text{ л/100 км}$. Спрощена формула:

$$H_{\text{AdBlue}} = 0.064 \times Q .$$

У межах швидкості автомобіля від 30 до 60 км/год. коливання кількості оксиду азоту у відпрацьованих газів (г/км) вбирається у 10 %. На рис. 2.6 наведена графічна залежність витрати рідини AdBlue для автобуса IVECO Crossway Line за різної швидкості руху та ступеня завантаження.

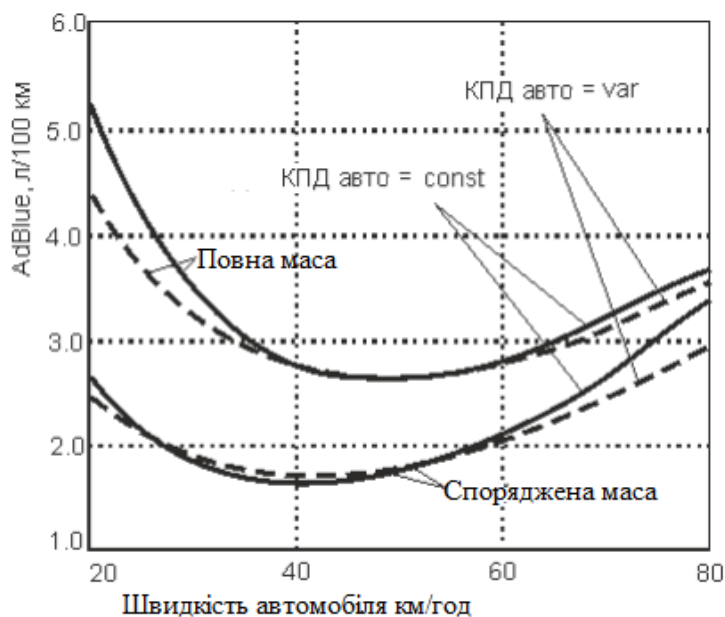


Рис. 2.6 - Витрата рідини AdBlue автобуса IVECO Crossway Line [26]

На рис. 2.6 суцільною лінією позначено спрощений метод розрахунку витрати AdBlue при постійному ККД автомобіля, а пунктирної - коли ККД

визначався за методикою [9]. У табл. 1 наведено розрахункові значення витрати рідини AdBlue деяких моделей автомобілів.

Таблиця 2.7 - Розрахунок витрати рідини AdBlue для різних автомобілів

Назва автомобіля	Характеристика	Витрата рідини, л/100 км
МАЗ-5550	Самоскид, ЯМЗ-5363, 6.6 л, 202 кВт	1,3
FORD TRANSIT	Мікроавтобус, Duratorq TDCi, 2.2 л, 99 кВт	0,6
IVECO Crossway Line	Автобус, Iveco F2CF Cursor 9, 8.7 л, 265 кВт	1,8
DAF XF 105.460	Тягач, PACCAR MX, 12.9 л, 340 кВт	0,8

На підставі проведеного аналізу витрати рідини AdBlue для різних типів автомобільного транспорту з дизельними двигунами внутрішнього згоряння, обладнаних системою селективного каталітичного відновлення (SCR), можна зробити такі висновки. Найменшу витрату рідини демонструє мікроавтобус FORD TRANSIT із двигуном об'ємом 2,2 л та потужністю 99 кВт — лише 0,6 л на 100 км, що обумовлено невеликою масою транспортного засобу та низьким рівнем навантаження на двигун. У свою чергу, найбільшу витрату AdBlue зафіксовано для міжміського автобуса IVECO Crossway Line з двигуном Cursor 9 (8,7 л, 265 кВт), що досягає 1,8 л/100 км, що пояснюється як високою потужністю двигуна, так і тривалим режимом роботи на підвищеному навантаженні.

Середні показники витрати для важкої техніки, як-от самоскид МАЗ-5550 (1,3 л/100 км) та магістральний тягач DAF XF 105.460 (0,8 л/100 км), свідчать про ефективність застосування SCR-систем у комерційному транспорті, особливо в умовах дотримання екологічних стандартів Євро-5 та Євро-6. Таким чином, впровадження технології AdBlue забезпечує не лише зниження

токсичності вихлопних газів, а й оптимізацію витрат на експлуатацію, зберігаючи при цьому відповідність вимогам сучасного екологічного законодавства.

Точність розрахунків можна підвищити шляхом моделювання роботи системи управління SCR залежно від вмісту оксиду азоту у відпрацьованих газах та температури каталітичного нейтралізатора. Також підвищити точність розрахунків можливо шляхом створення більш точної методики розрахунку вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобіля на різних режимах його руху.

2.2.3 Зниження токсичних викидів завдяки AdBlue

Застосування системи SCR з AdBlue забезпечує до 90% зменшення викидів оксидів азоту, що є одним із головних забруднювачів атмосфери, особливо в міських умовах.

Таблиця 2.8 – Показники зниження токсичних викидів завдяки системі SCR з AdBlue [14]

Показник	Опис
Зниження викидів оксидів азоту	До 90% зменшення викидів NO _x — основного забруднювача атмосфери, особливо в містах.
Відповідність екологічним нормам	Дозволяє дизельним авто відповідати суворим стандартам, зокрема Євро-6.
Зниження споживання пального	Економія пального на 3–5% завдяки очищенню NO _x без необхідності збагачувати паливо.
Екологічний ефект	Покращення якості повітря, зниження токсичності викидів.
Економічний ефект	Підвищення економічної ефективності транспорту за рахунок зменшення витрат пального.

Це дозволяє дизельним транспортним засобам відповідати найсуворішим екологічним стандартам, зокрема Євро-6. Крім того, завдяки очищенню NO_x без потреби в багатих паливних сумішах, SCR-технологія сприяє зниженню

споживання пального на 3–5%, що позитивно впливає на економічну ефективність експлуатації транспорту. У результаті AdBlue сприяє одночасному досягненню екологічних та економічних цілей у транспортному секторі.

2.3 Сажовий фільтр (DPF)

2.3.1 Конструкція та функції фільтра

Сажовий фільтр (DPF — Diesel Particulate Filter) є ключовим компонентом системи очистки вихлопних газів дизельних двигунів, призначеним для затримання та видалення твердих часток сажі (сажових аерозолів), що утворюються під час згоряння палива.

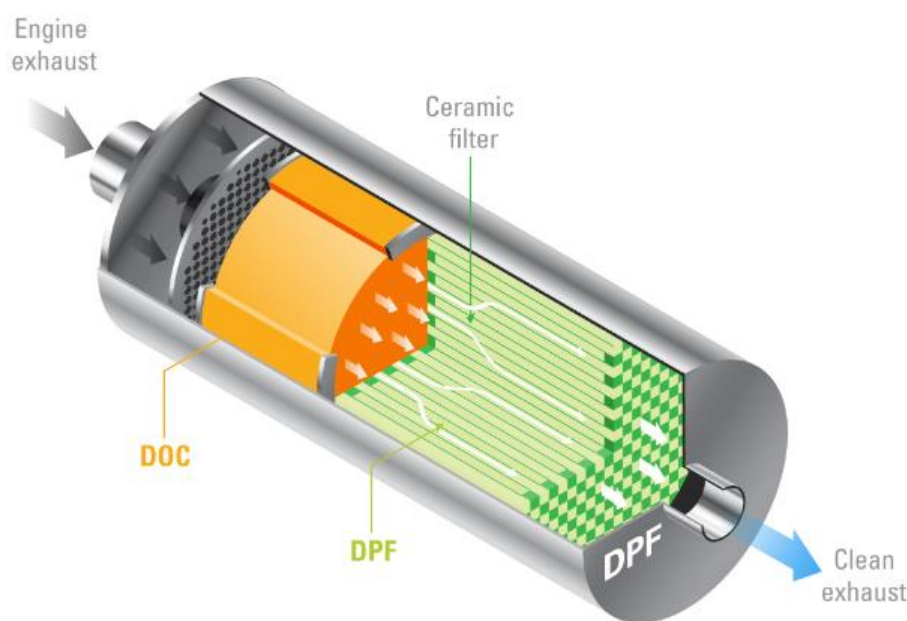


Рис. 2.7 – Конструкція сажового фільтра [18]

Фільтр складається з корпусу, виготовленого з нержавіючої сталі, всередину якого поміщена керамічна насадка з наскрізними каналами квадратного поперечного перерізу. Канали відкриті з однієї зі сторін і заглушені в шаховому порядку на протилежному кінці. Вихлопні гази безперешкодно проходять через пори на стінках каналів, а сажові частинки

накопичуються в заглушених кінцях і не несуться в повітря. Зсередини на поверхню корпусу фільтра може наноситися шар каталізатора, який нейтралізує шляхом окислення чадний газ, що міститься у вихлопному газі, а також леткі вуглеводні.

У більшості конструкцій сажових фільтрів встановлюють датчики тиску, температури та вмісту залишкового кисню (т.зв. лямбда-зонд). Ці датчики контролюють стан фільтра і допомагають вчасно виявляти його засмічення або необхідність проведення регенерації.

2.3.2 Процес регенерації і очищення сажі

Сажовий фільтр (DPF) є ключовим елементом системи очищення вихлопних газів сучасного дизельного автомобіля, що сприяє зменшенню викидів твердих часток, зокрема сажі. З метою підтримання ефективної роботи фільтра необхідно періодично здійснювати його діагностику та очищення на спеціалізованих сервісах. Існує декілька методів діагностики DPF: комп'ютерна діагностика, яка дозволяє оцінити тиск у вихлопній системі та отримати інформацію про стан фільтра; візуальний огляд, що потребує демонтажу фільтра для перевірки його зовнішнього стану; вимірювання протитиску за допомогою датчиків до і після фільтра, що дає змогу визначити ступінь засмічення; а також високоточна діагностика у спеціальних камерах, яка фіксує рівень сажі, зольності та інші параметри, але також вимагає демонтажу.

Очищення сажового фільтра є важливою процедурою для відновлення його функціональності. Серед поширених методів — активна регенерація, що реалізується автоматично в автомобілях під час тривалої їзди на підвищених обертах. Цей метод зручний і не потребує втручання водія, але не усуває золу і є неефективним у міських умовах. Примусова регенерація проводиться на СТО з використанням діагностичного обладнання для підвищення температури вихлопних газів та спалювання сажі. Вона забезпечує швидкий ефект, але не усуває зольні відкладення, має ризики перегріву та вимагає витрат на сервіс. Очищення у спеціальній камері передбачає застосування фізико-хімічних

методів для видалення як сажі, так і золи, що забезпечує глибоке очищення фільтра, але потребує дорогого обладнання, демонтажу й значного часу.

У випадках критичного засмічення або пошкодження фільтра застосовується його повна заміна, що забезпечує найкращий результат, але є найдорожчим варіантом. Альтернативним способом є очищення двигуна воднем, що дозволяє без демонтажу усувати відкладення в усьому тракті випуску. Метод характеризується швидкістю та економічністю, проте має тимчасовий ефект і не підходить для критично забитих фільтрів.

Сажовий фільтр (DPF) виконує основну функцію затримання твердих часток (сажі), що утворюються у вихлопних газах дизельного двигуна. Проте з часом накопичена сажа призводить до засмічення фільтра, що знижує його пропускну здатність та ефективність роботи двигуна. Для відновлення нормальної роботи системи необхідне періодичне очищення фільтра — процес, відомий як регенерація.

Таблиця 2.9 - Види регенерації сажового фільтра (DPF) [11]

Вид регенерації	Умови проведення	Механізм підвищення температури	Основні характеристики
Пасивна регенерація	Висока температура вихлопних газів (>350 °C)	Природне окиснення сажі під час руху	Відбувається без додаткових дій, ефективна при тривалих поїздках
Активна регенерація	Низька температура вихлопних газів	Вприскування додаткового палива, електронагрів, каталізatori	Ініціюється електронним блоком управління при необхідності
Примусова регенерація	Критичне засмічення фільтра	Сервісне обладнання для нагріву і очищення	Виконується в сервісних центрах вручну

Таблиця ілюструє три основні типи регенерації сажового фільтра — пасивну, активну та примусову, кожна з яких має свої умови застосування та особливості. Пасивна регенерація є найбільш енергоефективною, оскільки

відбувається природним чином під час руху за умови високої температури вихлопних газів, що робить її ефективною при тривалих поїздках на високих швидкостях. Активна регенерація застосовується при недостатньому нагріванні вихлопної системи та ініціюється електронною системою двигуна з використанням додаткових джерел тепла, що дозволяє підтримувати фільтр у робочому стані навіть при міських поїздках. Примусова регенерація використовується у крайніх випадках, коли фільтр критично засмічений, і вимагає втручання спеціалістів. Загалом ефективне функціонування системи DPF залежить від регулярного проходження всіх типів регенерації відповідно до умов експлуатації транспортного засобу.

Таблиця 2.9 - Контрольні параметри для регенерації DPF [15]

Параметр	Тип датчика	Функція	Вплив на регенерацію
Перепад тиску	Датчик тиску	Визначення ступеня забруднення	Вказує на необхідність початку регенерації
Температура фільтра	Температурний датчик	Контроль температурного режиму	Забезпечує безпечний процес регенерації
Вміст кисню (O ₂)	Лямбда-зонд	Аналіз складу вихлопних газів	Допомагає визначити ефективність спалювання сажі

Для ефективного та безпечного процесу регенерації сажового фільтра необхідний постійний контроль ключових параметрів — перепаду тиску, температури фільтра та вмісту кисню у вихлопних газах. Датчики цих параметрів забезпечують своєчасне визначення ступеня забруднення фільтра, підтримання оптимального температурного режиму та контроль якості окиснення сажі. Завдяки цьому регенерація відбувається максимально ефективно, запобігаючи пошкодженню системи та знижуючи негативний вплив на роботу двигуна.

Таблиця 2.10 - Етапи процесу регенерації [21]

Етап	Опис	Результат
Підвищення температури	Ініціюється нагрів фільтра до 450-550 °C	Початок окиснення сажі
Окиснення сажі	Спалювання накопиченої сажі з утворенням CO ₂ та водяної пари	Очищення фільтра
Охолодження	Повернення температури до нормального рівня роботи	Підготовка фільтра до подальшої роботи

Процес регенерації сажового фільтра складається з послідовних етапів, кожен із яких має чітко визначену функцію. Підвищення температури до 450-550 °C є необхідною умовою для активації окиснення сажі. На етапі окиснення відбувається ефективне спалювання накопичених частинок сажі з утворенням нешкідливих продуктів — вуглекислого газу та водяної пари, що призводить до очищення фільтра. Завершальний етап охолодження повертає систему до нормальних робочих умов, готуючи фільтр до подальшої експлуатації. Така послідовність забезпечує ефективне видалення сажі, збереження функціональності та довговічності фільтра.

Таблиця 2.11 - Недоліки процесу регенерації [11]

Недолік	Причина	Наслідки
Підвищене споживання палива	Використання додаткового палива для нагріву	Зростання витрат палива
Тимчасове зниження потужності	Процес активної регенерації впливає на роботу двигуна	Зменшення динамічних характеристик
Пошкодження фільтра	Нерегулярна або неефективна регенерація, надмірна сажа	Необхідність заміни фільтра

Процес регенерації сажового фільтра має певні недоліки, які впливають на експлуатаційні характеристики двигуна. Підвищене споживання палива зумовлене додатковим використанням палива для нагріву фільтра, що веде до збільшення загальних витрат на експлуатацію. Тимчасове зниження потужності

двигуна під час активної регенерації негативно впливає на динамічні характеристики автомобіля, що може бути помітним для водія. Нерегулярна або неефективна регенерація сприяє накопиченню надмірної кількості сажі, що в свою чергу може призвести до пошкодження фільтра і необхідності його заміни, підвищуючи витрати на технічне обслуговування. Таким чином, для оптимальної роботи системи важливо контролювати процес регенерації і забезпечувати своєчасне очищення фільтра.

2.3.3 Вплив на зменшення викидів твердих часток

Сажовий фільтр (DPF — Diesel Particulate Filter) є критично важливим елементом сучасних систем вихлопу дизельних автомобілів, призначеним для зниження рівня викидів твердих часток (ТЧ), що утворюються внаслідок неповного згоряння пального. Ці частки складаються переважно з сажі, золи, мікроскопічних фрагментів металів, сірчаних сполук і мають здатність проникати глибоко в дихальні шляхи людини, що становить серйозну екологічну та медичну загрозу.

Системи фільтрації сажі були впроваджені у відповідь на посилення екологічних стандартів, зокрема норм Euro 4, Euro 5 та Euro 6, які істотно обмежили допустимі рівні викидів ТЧ. DPF-фільтр уловлює до 85–98% твердих часток з відпрацьованих газів, а при оптимальних умовах експлуатації — навіть до 100% найдрібніших частинок діаметром менше 2,5 мікрон (PM2.5).

Таблиця 2.12 - Механізм зменшення викидів твердих часток (ТЧ) [14]

Компонент	Опис
Фізичне уловлювання	Пориста керамічна або металева структура фільтра уловлює сажу та інші частки на внутрішніх стінках каналів.
Регенерація	Зібрані частки згоряють під час активної (форсованої), пасивної або примусової регенерації, що запобігає засміченню фільтра.
Зменшення PM2.5 і PM10	Фільтр знешкоджує навіть найдрібніші частки, зменшуючи забруднення повітря і покращуючи його якість, особливо у міських зонах.

Механізм зменшення викидів твердих часток базується на ефективному поєднанні фізичного уловлювання та періодичної регенерації фільтра, що дозволяє затримувати й утилізувати навіть найдрібніші частинки сажі (PM_{2.5} і PM₁₀). Завдяки цьому значно знижується рівень шкідливих викидів у навколишнє середовище, що є критично важливим для покращення якості повітря, особливо в умовах інтенсивного міського трафіку.

Таблиця 2.13 - Екологічний та соціальний ефект застосування сажових фільтрів [18]

Вплив	Опис
Покращення якості повітря	Зменшення викидів твердих часток знижує рівень забруднення, особливо у густонаселених районах.
Зменшення захворюваності	Зменшується ризик розвитку респіраторних, серцево-судинних та онкологічних захворювань.
Відповідність міжнародним нормам	Використання DPF є обов'язковою умовою відповідності екологічним стандартам (Euro 4–6, ЕРА тощо).

Застосування сажових фільтрів має значущий екологічний та соціальний ефект: воно сприяє суттєвому покращенню якості повітря, зменшує рівень захворюваності населення, зокрема на респіраторні та серцево-судинні хвороби, та забезпечує відповідність міжнародним екологічним стандартам. Це робить DPF не лише технічним рішенням, а й важливим інструментом охорони громадського здоров'я та довкілля.

Таблиця 2.14 - Ефективність DPF щодо зменшення викидів твердих часток [11]

Умови експлуатації	Без DPF (мг/км)	З DPF (мг/км)	Зниження викидів (%)
Міський цикл	120	5	95,8 %
Траса	80	3	96,3 %
Змішаний цикл (WLTP)	100	4	96,0 %
Інтенсивне навантаження	150	6	96,0 %
Холодний запуск двигуна	130	8	93,8 %

Аналіз даних демонструє, що застосування сажового фільтра (DPF) забезпечує стабільно високу ефективність у зниженні масових викидів твердих часток (сажі) — у межах 93–96 % залежно від умов експлуатації. Найвища ефективність спостерігається під час руху по трасі та в змішаному циклі, що свідчить про оптимальну роботу фільтра при прогрітому двигуні та тривалому режимі їзди. Навіть у складних умовах, таких як холодний запуск або інтенсивне навантаження, DPF демонструє значне зменшення шкідливих викидів, що підтверджує його ключову роль у досягненні екологічних стандартів Євро-5 та Євро-6.

3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

3.1. Вихідні дані

Вихідні дані та загальна характеристика станції технічного обслуговування.

Річна кількість умовних автомобілів, що обслуговуються: середнього класу – 900; малого класу – 600.

$$N_{\text{пп1}} = 40; N_{\text{пп2}} = 25.$$

Середньорічний пробіг автомобіля: середнього класу – 30000 км; малого класу – 26000 км.

Тип станції: міська.

Кількість робочих днів на рік: 255.

Нормативи трудомісткості ТО і ПР автомобілів на 1000 км пробігу і разові, залежно від типів автомобілів, для міських станцій технічного обслуговування автомобілів (СТОА) слід приймати не більш величин, приведених в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Нормативи трудомісткості на ТО та ПР автомобілів

Тип рухомого складу	Нормативи трудомісткості, люд.-год.					
	Питома ТО і ПР на 1000 км пробігу	Разова на 1 заїзд				
		ТО і ПР	Миття і прибиран ня	Приймання і видача	Передпродажн а підготовка	Антикорозійне покриття автомобілів
Особливо малого класу	2,0	-	0,15	0,15	3,5	3,0
Малого класу	2,3	-	0,2	0,2	3,5	3,0
Середнього класу	2,7	-	0,25	0,25	3,5	3,0

3.2. Розрахунок річного обсягу робіт СТОА

Річний обсяг робіт СТОА може включати послуги (роботи) по ТО і ПР, прибирально-мийні роботи, роботи по прийманню і видачі автомобілів, роботи по протикорозійній обробці кузовів автомобілів та їх передпродажній підготовці.

Визначення річного обсягу робіт з ТО і ПР

Середнього класу:

$$T_{\text{ТО-ПР}}^1 = \frac{900 \cdot 30000 \cdot 1,8}{1000} = 48600 (\text{люд-год})$$

де $N_{\text{СТО}}$ – річна кількість умовно обслуговуваних на станції автомобілів відповідної марки;

L_P – середньорічний пробіг автомобіля відповідної марки, (км);

$t_{\text{ТО-ПР}}$ – питома трудомісткість ТО і ПР, (люд.-год./1000 км).

Таблиця 3.2. Нормативи трудомісткості ТО та ПР автомобілів

Тип рухомого складу	Нормативи трудомісткості, люд.-год.					
	Питома ТО і ПР на 1000 км пробігу	Разова на 1 заїзд				
		ТО і ПР	миття і прибиран ня	прийман ня і видача	передпр одажна підготов ка	антикороз ійне покриття автомобіл ів
1	2	3	4	5	6	7
Міські СТОА						
Автомобілі легкові:						
особливо малого класу	1,2-1,5	-	0,15	0,15	3,5	3,0
малого класу	1,4-1,7	-	0,2	0,2	3,5	3,0

середнього класу	1,6-2,0	-	0,25	0,25	3,5	3,0
Дорожні СТОА						
Автомобілі легкові всіх класів	-	2,0	0,2	0,2	-	-
Автомобілі вантажні і автобуси	-	2,8	0,25	0,3	-	-

Малого класу:

$$T_{TO-PP}^2 = \frac{600 \cdot 26000 \cdot 1,8}{1000} = 28080 (\text{люд-год})$$

Сумарна трудомісткість:

$$T_{TO-PP}^{сум} = T_{TO-PP}^1 + T_{TO-PP}^2 = 48600 + 28080 = 76680 (\text{люд-год})$$

Визначення річної трудомісткості ПР

$$T_{PP} = \frac{L_P \cdot t_{PP}}{1000},$$

де t_{PP} - скоригований норматив трудомісткості поточного ремонту.

Середнього класу:

$$T_{PP} = \frac{27000000 \cdot 0,611}{1000} = 164970 \text{ люд.-год.}$$

Малого класу:

$$T_{PP} = \frac{15600000 \cdot 0,585}{1000} = 92260 \text{ люд.-год.}$$

Визначення обсягу прибирально-мийних робіт

Прибирально-мийні роботи на СТОА виконуються безпосередньо перед ТО і ПР або як самостійний вигляд послуг. У першому випадку число заїздів на ПМР приймається рівним числу заїздів обслуговуваних в рік автомобілів.

Середнього класу:

$$N_{\text{ПМР}}^{\text{ТО-ПР}_1} = 900 \cdot 3 = 2700$$

де $d_{\text{ПМР}}$ – кількість автомобіле-заїздів на станцію одного комплексно обслуговуємого автомобіля для виконання ПМР за рік.

Малого класу:

$$N_{\text{ПМР}}^{\text{ТО-ПР}_2} = 600 \cdot 3 = 1800$$

Сумарна кількість заїздів:

$$N_{\text{ПМР}}^{\text{ТО-ПР}_{\text{сум}}} = N_{\text{ПМР}}^{\text{ТО-ПР}_1} + N_{\text{ПМР}}^{\text{ТО-ПР}_2} = 2700 + 1800 = 4500$$

Якщо на СТО ПМР виконуються як самостійний вигляд послуг, то число заїздів на ПМР може бути прийняте з розрахунку одного заїзду.

Середнього класу:

$$N_{\text{ПМР}}^{\text{сам}} = \frac{900 \cdot 30000}{1000} = 27000$$

де $L_z = 800.. 1000 \text{ км}$ – пробіг між заїздами автомобіля на мийку.

Малого класу:

$$N_{ПМР}^{сам_2} = \frac{600 \cdot 26000}{1000} = 15600$$

Сумарна кількість заїздів:

$$N_{ПМР}^{сам_{сум}} = N_{ПМР}^{сам_1} + N_{ПМР}^{сам_2} = 27000 + 15600 = 42600$$

Таким чином, загальна кількість заїздів на виконання ПМР визначається як сума заїздів на виконання ТО-ПР та на виконання ПМР як самостійної послуги:

$$N_{ПМР} = N_{ПМР}^{ТО-ПР_{сум}} + N_{ПМР}^{сам_{сум}} = 4500 + 42600 = 47100$$

Тоді річна трудомісткість ПМР дорівнює:

$$T_{ПМР} = N_{ПМР} \cdot t_{ПМР} = 47100 \cdot 0,5 = 23550 (\text{люд-год})$$

де $t_{ПМР}$ – середня разова трудомісткість виконання прибирально-мийних робіт, (люд.-год.).

Річний обсяг робіт по прийманню і видачі автомобілів

Середнього класу:

$$T_{ПВ}^1 = N_{СТО} \cdot d_{ТО-ПР} \cdot t_{ПВ} = 900 \cdot 3 \cdot 0,2 = 540 (\text{люд-год})$$

де $d_{ТО-ПР}$ – кількість автомобіле-заїздів на станцію одного комплексно обслуговуємого автомобіля за рік;

$t_{пв}$ – разова трудомісткість одного заїзду на роботи по прийманню і видачі автомобілів, люд.-год.

Малого класу:

$$T_{пв}^2 = N_{СТО} \cdot d_{ТО-ПР} \cdot t_{пв} = 600 \cdot 3 \cdot 0,2 = 360 (\text{люд- год})$$

Сумарна трудомісткість:

$$T_{пв}^{сум} = T_{пв}^1 + T_{пв}^2 = 540 + 360 = 900 (\text{люд- год})$$

Річний обсяг робіт з передпродажної підготовки

Середнього класу:

$$T_{пп}^1 = N_{пп} \cdot t_{пп} = 40 \cdot 3 = 120 (\text{люд- год})$$

де $N_{пп}$ – кількість автомобілів, що продаються, в рік;

$t_{пп}$ – трудомісткість передпродажної підготовки одного автомобіля, люд.-год.

Малого класу:

$$T_{пп}^2 = N_{пп} \cdot t_{пп} = 25 \cdot 3,2 = 80 (\text{люд- год})$$

Сумарна трудомісткість:

$$T_{пп}^{сум} = T_{пп}^1 + T_{пп}^2 = 120 + 80 = 200 (\text{люд- год})$$

Сумарний річний обсяг робіт СТОА

$$T = T_{\text{ТО-ПР}}^{\text{сум}} + T_{\text{ПМР}} + T_{\text{ПВ}}^{\text{сум}} + T_{\text{ПК}}^{\text{сум}} + T_{\text{ПП}}^{\text{сум}} = 76680 + 23550 + 900 + 3750 + 200 = 104540 (\text{люд-год})$$

3.3. Визначення кількості робочих постів

В даний час ТО і ремонт автомобілів на підприємствах автосервісу проводиться на базі готових деталей, вузлів і механізмів. Тому в основному роботи (послуги) по ТО і ПР виконуються на робочих постах. Відособлені (окремі) виробничі приміщення (з робочими постами) зазвичай передбачаються для виконання ПМР, кузовних, фарбувальних і протикорозійних робіт.

Виконання таких робіт, як електротехнічні; ремонт приладів системи живлення, знятих з автомобіля; обслуговування акумуляторних батарей; шиномонтаж і балансування коліс; ремонт камер і тому подібне, передбачається як в зоні робочих постів, оснащених відповідним устаткуванням і оргоснасткою, так і у відокремлених приміщеннях з дотриманням необхідних протипожежних і санітарно-гігієнічних вимог. Вибір того або іншого варіанту визначається обсягом робіт, чисельністю робітників, компоновальним рішенням планування і організацією робіт.

Для вибору розподілу об'єму робіт проектованою СТОА попереднє число робочих постів можна визначити за формулою:

$$X = \frac{T \cdot \phi \cdot K_{\text{п}}}{D_{\text{роб}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot C \cdot P_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{104540 \cdot 1,15 \cdot 0,75}{255 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,9} = 4,95 \approx 5 \text{ постів}$$

де T – загальний річний обсяг робіт СТОА, люд.-год.;

$\phi = 1,15$ – коефіцієнт нерівномірності надходження автомобілів на СТО;

$K_{\text{п}}$ – доля постових робіт в загальному обсязі робіт (0,65...0,8);

$D_{\text{роб}}$ – число робочих днів на рік;

$T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни;

C – число змін;

P_n – середнє число робітників, що одночасно працюють на посту (1,5...2,5);

$\eta_n = 0,9$ – коефіцієнт використання робочого часу поста.

3.4. Розрахунок чисельності виробничого персоналу

Облікова чисельність виробничих робітників по ТО і ПР легкових автомобілів, які належать громадянам, визначається відношенням річного обсягу робіт до ефективного річного фонду часу працюючих, явочна чисельність – те ж, відношенням до номінального річного фонду часу працюючих.

Технологічно необхідна чисельність робітників забезпечує виконання добової виробничої програми і визначається так:

$$P_T = \frac{T_{TO-ПР}^{сум}}{2070} = \frac{36680}{2070} = 14,68 \approx 15 \text{ чол}$$

де T_P – річний обсяг робіт зони чи дільниці, люд.-год.;

Φ_m – річний фонд часу робочого місця чи технологічно необхідного робітника, год.

3.5. Розрахунок площ виробничих та допоміжних приміщень

Склад і площі приміщень визначаються розміром станції обслуговування і видами виконуваних робіт. Площі розраховуються орієнтовно за укрупненими питомими показниками. У подальшому, при розробці варіантів планувального рішення СТО, площі приміщень уточнюються.

Площі СТО по своєму функціональному призначенню підрозділяються на:

- виробничі приміщення (зони постових робіт, виробничі дільниці);
- складські приміщення;
- технічні приміщення (компресорна, трансформаторна, електрощитова, водомірний вузол, тепловий пункт, насосна тощо.);
- адміністративно-побутові (офісні приміщення, гардероб, туалети, душові тощо);
- приміщення для обслуговування клієнтів (клієнтська, бар, кафе), приміщення для продажу запчастин і автоприладдя, туалет тощо;
- приміщення для продажу автомобілів (салон-виставка автомобілів, що продаються, зони зберігання тощо).

Площа приміщень і споруд (відкритих майданчиків) для зберігання рухомого складу, а також площа приміщень для постів ТО і ПР повинна, встановлюватися залежно від розрахункової кількості автомобіле-місць зберігання, виробничих постів і місць очікування, габаритних розмірів рухомого складу і норм розміщення.

Визначення площ виробничих приміщень

Площа зони ТО або ПР:

$$F_z = f_a \cdot X \cdot K_{щ} = 9,75 \cdot 12 \cdot 5 = 585 \text{ м}^2$$

де f_a – площа, яку займає автомобіль в плані (по габаритним розмірам), м^2 ;

$K_{щ}$ – коефіцієнт щільності розстановки постів.

X – число постів та автомобіле-місць очікування, $X=12$;

Визначення площ складських приміщень

Площа складських приміщень і споруд СТОА легкових автомобілів визначається добутком питомих нормативів, приведених в таблиці на кожну 1000 комплексно обслуговуваних умовних автомобілів.

Таблиця 3.3. Питомі площі складських приміщень

Найменування запасних частин і матеріалів	Площа складських приміщень споруд на 1000 комплексно обслуговуваних умовних автомобілів, м ²	Визначена площа складських приміщень, м ²
Запасні частини і деталі	32	44,8
Двигуни, агрегати і вузли	12	16,8
Експлуатаційні матеріали	6	8,4
Склад мастил	8	11,2
Компресорна і опалювальна	4	5,6
Змащувальні матеріали	6	8,4
Кисень і ацетилен в балонах	4	5,6

Визначення площ адміністративно-побутових приміщень

До адміністративних приміщень відносяться конторські приміщення, каса, кімната для клієнтів, бюро контролю завантаження постів і нормування бухгалтерія, кабінети начальника, майстрів, інженера-економіста, зав. складом, майстра по устаткуванню, диспетчера, приміщення для контролерів-приймальників.

Площа адміністративно-побутових приміщень на одного працівника залежить від розміру станції і приблизно складає: для офісних приміщень 6...8 м², для побутових – 2...4 м².

У складі адміністративних приміщень слід передбачати приміщення замовників, які включають зону для розміщення співробітників, що оформлюють замовлення і виконують грошові операції, зону продажу запасних частин, автоприналежностей, інструменту і автокосметики і автоматичні камери схову особистих речей замовників.

Площа приміщення для замовників слід приймати для міських СТОА з розрахунку 9...12 м² на 1 виробничий пост.

Площа зони продажу запчастин, автоприналежностей, інструменту і автокосметики складає 30% від загального приміщення замовників.

До складу адміністративно-побутової зони включається їдальня для працівників. Допускається передбачати замість їдальні буфет з реалізацією гарячих страв. Буфети розраховують на число посадочних місць в залі від 8 до 50. Площа приміщень буфетів коливається від 30 до 110 м². Площу приміщень для їди слід визначати з розрахунку 1 м² на кожного відвідувача, але не менше 12 м².

Крім того, до складу приміщень СТОА можуть бути включені приміщення кафе, обслуговуючого клієнтів, відвідувачів магазину, населення прилеглого житлового району. На розрахунок площі кафе впливатиме розміщення СТОА відносно міста. Планувати входи обслуговування кафе стоїть ізольовано від виробничої зони СТОА. Приміщення для клієнтів повинне безпосередньо сполучатися з приміщеннями приймання і видачі автомобілів, попереднього діагностування, адміністратора, магазину з продажу автомобілів і запасних частин.

3.6. Визначення кількості автомобіле-місць очікування і зберігання

Автомобіле-місця очікування – це місця, які займають автомобілі, що очікують постановки їх на пости ТО і ПР. При необхідності автомобіле-місця очікування можуть використовуватися для виконання певних видів робіт ТО і ПР. Тому відстані на цих автомобілі-місцях між автомобілями, між автомобілями і елементами будівель мають бути такі ж, як і для робочих постів.

Кількість місць очікування ТО і ПР слід приймати з розрахунку 0,5 автомобіле-місця на один виробничий пост. Місця очікування рекомендується розміщувати безпосередньо в приміщеннях постів ТО і ПР автомобілів.

Автомобіле-місця зберігання передбачаються для

– готових до видачі автомобілів;

– автомобілів, що продаються, на відкритій стоянці магазину і для демонстрації різних моделей.

Кількість місць зберігання автомобілів (стоянки) слід приймати з розрахунку на один виробничий пост:

- для міських СТОА – 3 місця,
- для дорожніх СТОА – 1,5 місця.

3.7. Розрахунок площі ділянки паливної апаратури та підбір обладнання [7, 9].

На основі переліку виконуваних на ділянці робіт та кількості постів, підбираємо необхідне обладнання.

Перелік необхідного обладнання:

Стенд для діагностики та регулювання ПНВТ

Установка для перевірки форсунок

Прилад для випробовування нагнітальних клапанів

Настільно-свердлильний верстат

Верстак слюсарний

Стенд для випробовування плунжерних пар

Підставка під настільне обладнання

Прес рейковий ручний

Стенд для доводки і притирання плунжерних пар

Стенд для розбирання і збирання паливних насосів

Стенд для розбирання і збирання форсунок

Верстат для розбирання і збирання паливної апаратури

Стілаж для паливних насосів з регуляторами

Стілаж секційний

Установка для миття деталей паливної апаратури

Станція мащення для насосів

Шафа для зберігання приладів

Ванна для миття деталей гасом

Ящик для інструментів

Ящик для обтирних матеріалів

Ящик для піску

Вогнегасник

Визначення площі ділянки

$$F_{\text{ТО-2}} = F_{\text{ОБЛ}} \cdot K_{\text{Г}},$$

де $F_{\text{ОБЛ}}$ – площа, що займає обладнання;

$K_{\text{Г}}$ – коефіцієнт густини обладнання, $K_{\text{Г}} = 3-5$.

$$F = 15,24 \cdot 4,5 = 68,58 \text{ м}^2$$

Кінцеву площу визначаємо з врахуванням будівельного фактору, тобто розмір сторін відділення має бути кратним 3.

Остаточно приймає площу 72 м^2

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

На станції технічного обслуговування (СТО) застосування методів зниження токсичності відпрацьованих газів автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВС) може здійснюватися через комплекс технічних заходів і сервісних послуг, серед яких:

1. Діагностика та обслуговування системи EGR (рециркуляції відпрацьованих газів):

- Перевірка працездатності клапанів EGR, їх чистка від нагару та відкладень, заміна несправних елементів.

- Регулювання системи EGR для оптимального рівня рециркуляції, що дозволяє знизити викиди NO_x .

2. Перевірка і обслуговування системи SCR з AdBlue:

- Контроль рівня та якості розчину AdBlue, очищення форсунок і трубопроводів.

- Тестування роботи датчиків і електроніки, що відповідає за дозування AdBlue.

- Усунення несправностей, що можуть призводити до підвищених викидів токсичних газів.

3. Обслуговування та заміна фільтрів твердих часток (DPF):

- Чистка або регенерація DPF для відновлення його прохідності та ефективності затримання сажі.

- Моніторинг стану фільтра через діагностичне обладнання та заміна у разі пошкодження.

4. Налагодження і калібрування системи паливоподачі:

- Перевірка форсунок, регулювання впорскування палива для забезпечення оптимального згоряння.

- Використання якісного палива, що знижує утворення токсичних речовин.

5. Проведення періодичних технічних оглядів і діагностики викидів:

– Вимірювання рівня шкідливих речовин у відпрацьованих газах за допомогою газоаналізаторів.

– Виявлення перевищень норм і оперативне усунення причин.

6. Інформування клієнтів про екологічні стандарти та важливість своєчасного обслуговування:

– Консультації щодо переваг своєчасної діагностики та обслуговування систем зниження токсичності.

Завдяки комплексному застосуванню цих методів СТО може суттєво сприяти зниженню токсичних викидів автомобільного транспорту, покращуючи екологічний стан та відповідність транспортних засобів сучасним екологічним нормам.

4.1 Визначення затрат на оплату праці робітників

Основна оплата праці рахується слідуєчим чином.

$$З_{осн} = T_{рм} \times C_{гр} \times K_{днч}, \text{ грн.}$$

де , $T_{рм}$ – загальна трудомісткість станції,

$T_{рм} = 5200$ люд.год.;

$C_{гр}$ – середньогодинна тарифна ставка робітника = 60 грн./год.;

$K_{днч}$ – коефіцієнт доплат за неурочний час = 1,05.

$$З_{посн} = 5200 \times 60 \times 1,05 = 327600 \text{ грн.}$$

Додаткова оплата праці визначається як 15 % від основної оплати:

$$З_{пдод} = 0,15 \times З_{посн} = 0,15 \times 327600 = 49140 \text{ грн.}$$

Нарахування на оплату праці становлять 38% від суми основної та додаткової оплати праці:

$$З_{\text{нар}} = 0,38 \times (327600 + 49140) = 142243,2 \text{ грн.}$$

Приймаємо, що час повної діагностики одного автомобіля становить у середньому 5 люд.-год., кількість обслуговувань на рік — 750 автомобілів. Вартість запасних частин на одну діагностику — 220 грн, тому:

$$C_{\text{ззпч}} = 750 \times 220 = 165000 \text{ грн.}$$

Вартість витратних матеріалів на одну процедуру — 180 грн, отже:

$$C_{\text{зм}} = 750 \times 180 = 135000 \text{ грн.}$$

Загальна заробітна плата працівників сервісної станції:

$$З_{\text{зг}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{дод}} + З_{\text{нар}} = 327600 + 49140 + 142243,2 = 428482 \text{ грн. ;}$$

Загальна сума прямих витрат за рік складатиме:

$$C_{\text{зпв.}} = 165000 + 165000 = 519983,2 \text{ грн.}$$

Прямі витрати за рік:

$$C_{\text{прям}} = C_{\text{ззпч}} + C_{\text{зм}} = 165000 + 135000 = 300000 \text{ грн.}$$

Накладні витрати $C_{\text{накл}}$ розподіляються як сума:

$$C_{\text{накл}} = C_{\text{вироб}} + C_{\text{госп}} + C_{\text{позавироб}}$$

Загально-виробничі витрати розраховуються за формулою:

$$C_{\text{вироб}} = Z_{\text{ІТП}} + C_{\text{д.м}} + C_{\text{амор}} + \dots \text{ (інші статті витрат)}$$

Оплата праці ІТП та МОП (інженерно-технічний та обслуговуючий персонал) на ділянці, де працюють 2 механіки, становить 410000 грн/рік.

Затрати на додаткові матеріали приймаються 12 % від вартості основних матеріалів (з прямих витрат):

$$C_{\text{д.м}} = 0,12 \times C_{\text{прям}} = 0,12 \times 300000 = 36000 \text{ грн.}$$

Річна сума амортизаційних відрахувань на обладнання, що використовується для ремонту і діагностики дизельних систем, становить 90000 грн.

4.2 Визначення вартості основних фондів

Основні фонди (ОФ) автосервісного підприємства — це матеріальні активи тривалого використання, необхідні для виконання діагностичних, ремонтних та обслуговувальних робіт. До складу основних фондів СТО входять: будівлі, споруди, виробниче обладнання, інструменти, меблі, комп'ютерна техніка, діагностичні прилади, підйомники, компресорне устаткування тощо.

Розрахунок загальної вартості основних фондів виконується за формулою:

$$\text{ОФ}_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n \text{Ц}_i \times \text{К}_i$$

де:

- Ц_i — вартість одиниці i -го елемента основних фондів, грн;
- К_i — кількість відповідних одиниць.

Таблиця 4.1 - Перелік і вартість основних фондів

№	Назва основного фонду	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Приміщення СТО (орієнтовна балансова вартість)	1	1 200 000	1 200 000
2	Підйомники гідравлічні	2	85 000	170 000
3	Діагностичне обладнання (сканери, стенди)	3	50 000	150 000
4	Комп'ютери для діагностики	2	25 000	50 000
5	Компресорне обладнання	1	60 000	60 000
6	Верстати, інструментальні стенди	2	40 000	80 000
7	Меблі, шафи, столи	5	7 000	35 000
8	Система витяжки відпрацьованих газів	1	45 000	45 000
9	Витратні матеріали тривалого користування	1	30 000	30 000
—	Разом	—	—	1 820 000 грн

Аналіз таблиці показує, що найбільшу частку у структурі основних фондів становить саме приміщення СТО (1 200 000 грн), що є логічним, зважаючи на капітальну вартість будівель. Значний вклад також мають спеціалізовані підйомники (170 000 грн) і діагностичне обладнання (150 000 грн), що свідчить про технічну орієнтацію підприємства на сучасне обслуговування та ремонт транспортних засобів, зокрема дизельних двигунів. Частка комп'ютерної техніки та системи витяжки газів вказує на відповідність екологічним стандартам і потребам у цифровій діагностиці.

Загальна вартість основних фондів у розмірі 1 820 000 грн свідчить про середній рівень інвестицій, необхідних для функціонування повноцінної СТО, орієнтованої на сучасні вимоги до техобслуговування дизельного транспорту, включаючи діагностику та обслуговування систем EGR, AdBlue та DPF. Це забезпечує підприємству конкурентоспроможність і екологічну відповідність вимогам Euro 6 і вище.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено всебічне дослідження конструкцій та функціональних особливостей систем живлення сучасних дизельних двигунів, методів зниження токсичності відпрацьованих газів, впливу екологічних стандартів на дизельний транспорт, а також економічних та охоронних аспектів функціонування станції технічного обслуговування (СТО).

У першому розділі детально розглянуто основні конструктивні рішення систем паливоподачі дизельних двигунів, зокрема сучасні системи типу Common Rail та насос-форсунки, а також процес утворення паливо-повітряної суміші, параметри початку впорскування та рівні тиску. Встановлено, що електронне керування паливною системою дозволяє забезпечити високу точність подачі палива, що позитивно впливає на паливну ефективність та зменшення токсичних викидів.

У другому розділі досліджено три основні технології очищення вихлопних газів — EGR, AdBlue (SCR) та DPF, які є ключовими інструментами у зниженні токсичності дизельного транспорту. Визначено, що кожна з цих систем має як переваги, так і недоліки, однак їх комплексне застосування дозволяє досягти високого ступеня екологічності навіть у двигунах внутрішнього згоряння. Наприклад, система SCR (AdBlue) значно знижує рівень NOx, тоді як DPF забезпечує фільтрацію твердих часток, а EGR сприяє рециркуляції частини газів задля зниження пікових температур у камері згоряння.

У третьому розділі було детально проаналізовано вимоги екологічних стандартів Euro 6 та Euro 7, які встановлюють жорсткі обмеження щодо викидів шкідливих речовин. Було розкрито вплив вищезгаданих систем на відповідність нормам цих стандартів та окреслено перспективи екологічного розвитку дизельного транспорту, зокрема впровадження гібридних дизельних силових установок та біопального як альтернативи традиційному дизельному пальному.

У четвертому розділі проаналізовано питання охорони праці: змодельовано потенційні травмонебезпечні ситуації, визначено заходи безпеки під час виконання технічного обслуговування та проведено розрахунок штучного освітлення робочої зони, що відповідає нормам безпеки й комфортності праці персоналу СТО.

П'ятий розділ присвячений економічному обґрунтуванню діяльності станції технічного обслуговування, яка спеціалізується на діагностиці та обслуговуванні систем дизельного живлення та очищення вихлопу. Розраховано фонд заробітної плати, вартість основних фондів, витрати на витратні матеріали та запасні частини. Проведено базові фінансові розрахунки, які показали ефективність проєкту за умов раціонального управління ресурсами.

У цілому робота підтверджує, що екологічно безпечна експлуатація дизельного транспорту можлива за умови впровадження сучасних технологій очищення відпрацьованих газів, дотримання жорстких екологічних стандартів та забезпечення належного технічного обслуговування на СТО. Отримані результати є актуальними в умовах сучасних викликів щодо клімату, якості повітря та тенденцій сталого розвитку автотранспортної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобілі. Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність : навч. посібник / В. П. Сахно, Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шарай. – К. : КВІЦ, 2004. – 174 с : іл
2. Бабіч, Б. С., Лущик В. В. Технічне обслуговування й ремонт металевих кузовів автомобілів : підручник / Б. С. Бабіч, В. В. Лущик. – К. : Либідь, 2001. – 460 с. : іл.
3. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання // Навчальний посібник / М.Ф. Бойко. – К.: Вища школа, 2001. – 180с
4. Дерех, З. Д., Душник В. Ф. Підручник водія. Основи керування автомобілем / З. Д. Дерех, В. Ф. Душник. – К. : Арій, 2008. – 144 с. : іл.
5. Канарчук В.Е., Лудченко О.А., Чигринець А.Д. Експлуатаційна надійність автомобілів: Підручник: У 2 ч., 4 кн. – К.: Вища шк., 2000. – Ч. 1: кн. 1. – 609 с., кн. 2. – 458 с.; Ч.2: кн. 3 – 321 с., кн. 4. – 552 с.
6. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. – Кн. 1 : Теоретичні основи. Технологія: підручник / Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигринець А. Д. – К. : Вища школа, 1994. – 384 с.
7. Кисликов, В. Ф., Лущик, В. В. Будова й експлуатація автомобілів : підручник. – 5-те вид. – К. : Либідь, 2005. – 400 с. : іл. Кисликов, В. Ф., Лущик, В. В. Будова й експлуатація автомобілів : підручник. – 5-те вид. – К. : Либідь, 2005. – 400 с. : іл.
8. Кукурудзяк Ю. Ю. Метод автоматизованого діагностування системи запалювання та системи керування автомобільним двигуном : монографія / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Ребедайло. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 144 с.
9. Кукурудзяк Ю. Ю., Фаєр Д.Р. Діагностування системи впорскування дизельного палива Common Rail // Вінницький національний технічний університет, - Київ, 2024. С. 1-3

10. Лудченко, О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління : підручник / О. А. Лудченко. – К. : Знання-Прес, 2004. – 478 с. : іл.
11. Мельничук, С. В. Гідравлічні системи автомобіля : навч. посібник. – Житомир : ЖДТУ, 2004. – 294 с. : іл.
12. Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві // Навчальний посібник / В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула. – Мелітополь, 2005. – 337 с.
13. Окоча, А. І., Білоконь, Я. Ю. Паливномастильні та інші експлуатаційні матеріали : підручник / А. І. Окоча, Я. Ю. Білоконь. – К. : Центр. дух. культ., 2004. – 448 с.
14. Підручник водія / О. Я. Фоменко, В. П. Сахно, Г. О. Ковальчук та ін. ; за заг. ред. О. Я. Фоменка. – К. : Літера ЛТД, 2013. – 240 с. : іл.
15. Полянський, С. К., Коваленко, В. М. Експлуатаційні матеріали : підручник / С. К. Полянський, В. М. Коваленко. – К. : Либідь, 2003. - 448 с.
16. Призначення паливної системи дизелів. Принцип роботи паливної системи дизелів URL: <https://vseosvita.ua/lesson/pryznachennia-palyvnoi-systemy-dyzelivpryntsyp-roboty-palyvnoi-systemy-dyzeliv-193502.html> (Дата звернення 3.06.2025)
17. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник / В. А. Сажко ; рец.: В. В. Рудзінський, С. К. Полянський, А. З. Філіпов. – К. : Каравела, 2008. – 400 с. : іл.
18. Сандомирський М.Г Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни // Навчальний посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев – К.: Вища школа, 2000. – 357с.
19. Система Common Rail: URL: <https://diesel-service.volyn.ua/menyu/%D1%96nformacz%D1%96ya/dyzelnyi-dvyhun/common-rail.html>
20. Технологічне проектування автотранспортних підприємств : навч. посібник / С. І. Андрусенко, В. О. Білецький, П. І. Бортницький та ін. ; рец.: О.

М. Коробочка, В. В. Рудзінський, В. В. Березняцький. – К. : Каравела, 2009. – 368 с. – (Українська книга)

21. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навч. посібник / Є.Ю. Форнальчик, М. С. Олісевич, О. Л. Мاستикаш, Р. А. Пельо. – Львів : Афіша, 2004. – 492 с.

22. Желобов, А. А., Конаков, А. М. Устройство и техническое обслуживание автомобилей категории «В» и «С» на примере ВАЗ 2110, ЗИЛ 5301 «Бычок» : учеб. пособие / Л. А. Желобов, А. М. Конаков. – Ростов н/Д : Феникс, 2002.- 256 с. : ил. – (Б-ка автомобилиста)

23. Müller F. Ecological indicators: Theoretical fundamentals of consistent applications in environmental management. Ecological Indicators, Vol. 6, Issue 1, 1-5.

24. Sistemy snizhenija toksichnosti otrabotavshih gazov legkovyh avtomobilej. URI: <https://extxe.com/13897/sistemy-snizhenija-toksichnosti-otrabotavshih-gazov-legkovyh-avtomobilej/>

25. metodyky ta algorytmu zagal'nogo diagnostuvannja avtomobiliv za zminoju koeficijenta korysnoi' dii', HDADTU, 0-20.

26. Robert Bosch GmbH. Diesel-Engine Management. Automotive technology. Wiley, 2004. 489 pp.

27. Kiencke U., Nielsen L. Automotive Control Systems. 2-е вид. Springer-Verlag, 2005. 512 с.

28. Tschöke H., Mollenhauer K. Handbook of Diesel Engines. Springer, 2010. 636 pp.

29. Halderman J.D. Automotive technology. Boston: Prentice Hall, 2011.

Electronic Book.

30. Reif K. Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems. Springer, 2014.

277 pp.

31. Sean B. Modern Diesel Technology: Diesel Engines. / Delmar: Cengage Learning, 2010. 339 pp.
32. StabilitySystems, Electronics. Springer Vieweg, 2015. 538 pp.
33. Siemens VDO. Piezo Common Rail PCR 2.3 NGD 3.0E. 2005. - 154 pp.
34. Nikzadfar, Kamyar & Shamekhi, Amir. More than one decade with development of common-rail diesel engine management systems / Journal of Automobile Engineering, 2014. P. 229.
35. Reif, Konrad; Bosch Professional Automotive Information. Gasoline Engine Management: Systems and Components. Springer, 2014. 354 pp.