

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

**Пояснювальна записка**  
до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему «Удосконалення діагностування системи живлення Common Rail на базі станції технічного обслуговування автомобілів «Bosch Дизель Центр «Алекс-Дизель»»



Виконав: студент 2 курсу,  
групи 1АТ-18м спеціальності 274 –  
Автомобільний транспорт  
**Олійник В.В.**

Керівник: канд. техн. наук, доцент  
Смирнов С.В.

Рецензент: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Вінниця – 2019 року

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів і загальних висновків. Загальний обсяг роботи 116 стор., у тому числі 26 рис., 14 табл., 41 літературне джерело.

Предметом магістерської кваліфікаційної роботи є закономірності зміни діагностичних параметрів, що відображають технічний стан системи живлення Common Rail, при впровадженні нових і вдосконаленні існуючих методів діагностики.

Робота складається з п'ятих частин :

1. Стан проблеми діагностування системи живлення Common Rail. Аналіз роботи станцій технічного обслуговування автомобілів «Bosch Дизель Центр «Алекс-Дизель»;
2. Теоретичні засади діагностування системи живлення Common Rail;
3. Організація виконання робіт з діагностування системи живлення Common Rail;
4. Реалізація методик діагностування системи живлення Common Rail;
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Об'єктом дослідження є процес функціонування автомобіля з дизельним двигуном, оснащеним системою живлення Common Rail, при зміні параметрів її технічного стану в умовах експлуатації.

Головною метою цієї кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності експлуатації автомобілів за рахунок застосування високоефективних методів діагностики системи живлення Common Rail в умовах експлуатації.

В роботі було проведено обґрунтування моделі що описує процеси функціонування системи живлення Common Rail та методів її діагностики на автомобілі, що дає можливість підвищити ефективність системи діагностування, технічного обслуговування і ремонту автомобілів.

## ABSTRACT

Master's qualification work consists of an introduction, 5 sections and general conclusions. The total volume of work is 116 pages, including 26 figures, 14 tables, 41 literary sources.

The subject of the master's qualification work is the laws governing changes in diagnostic parameters that reflect the technical condition of the Common Rail power system when introducing new and improving existing diagnostic methods.

The work consists of five parts:

1. The status of the Common Rail power system diagnostic problem. Analysis of the operation of service stations of automobiles "Bosch Diesel Center" Alex-Diesel ";
2. The theoretical basis for diagnosing a common rail power system;
3. Organization of work on diagnostics of the Common Rail power system;
4. Implementation of diagnostic techniques for the Common Rail power system;
5. Occupational health and safety in emergency situations.

The object of research is the process of functioning of a car with a diesel engine equipped with a Common Rail power system, when changing the parameters of its technical condition under operating conditions.

The main goal of this qualification work is to increase the efficiency of car operation through the use of highly efficient diagnostic methods for the Common Rail power system in operating conditions.

In the work, a substantiation of the model describing the functioning processes of the Common Rail power system and the methods of its diagnosis on the car was carried out, which allows to increase the efficiency of the system of diagnosis, maintenance and repair of cars.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

CR – Common Rail (загальна магістраль);

АТП – автотранспортне підприємство;

ВТБ – виробничо-технічна база;

ЕБК – електронний блок керування;

ЕСКД – електронна система керування двигуном;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ПМР – прибирально-мийні роботи;

ПР – поточний ремонт;

РС – рухомий склад;

СТО (СТОА) – станція технічного обслуговування (автомобілів);

ТЗ – транспортний засіб;

ТО – технічне обслуговування;



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 СТАН ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL. АНАЛІЗ РОБОТИ СТАНЦІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ «BOSCH ДИЗЕЛЬ ЦЕНТР «АЛЕКС-ДИЗЕЛЬ».....	6
1.1 Сучасні тенденції розвитку систем живлення автомобілів з дизельними двигунами.....	6
1.2 Методи діагностики систем живлення автомобільних дизельних двигунів .....	16
1.3 Аналіз виробничої діяльності станції технічного обслуговування автомобілів «Bosch дизель центр «Алекс-Дизель».....	25
1.3.1 Загальна характеристика підприємства .....	25
1.3.2 Дослідження ринку послуг СТО.....	27
1.3.3 Аналіз показників роботи підприємства .....	28
1.4 Характеристика ВТБ підприємства.....	29
1.5 Висновки .....	31
2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL .....	32
2.1 Вплив технічного стану системи живлення Common Rail на експлуатацію автомобіля.....	32
2.2 Узагальнена математична модель системи живлення Common Rail.....	37
2.3 Обґрунтування методів діагностики системи живлення Common Rail.....	46
2.4 Висновки .....	55
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ З ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL .....	56
3.1 Визначення річних обсягів робіт .....	56
3.2 Розрахунок чисельності виробничого персоналу і кількості постів.....	57
3.3 Планування виробничих приміщень СТО «Алекс Дизель» .....	59
3.3.1 Дільничні роботи.....	59

	2
3.3.2 Постові роботи .....	60
3.3.3 Розробка планувального рішення зони ТО і ПР .....	62
3.4 Висновки .....	62
<b>4 РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИК ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL .....</b>	<b>64</b>
4.1 Аналіз існуючих стратегій експлуатації автомобілів з системою живлення Common Rail і зміни технічного стану її елементів .....	64
4.2 Діагностування системи Common Rail за зміною тиску палива .....	70
4.3 Діагностування системи Common Rail динамічним методом .....	77
4.4 Визначення ефективності удосконаленої системи діагностування систем живлення Common Rail.....	86
4.5 Висновки .....	90
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>92</b>
5.1 Аналіз умов праці.....	92
5.2 Виробнича санітарія.....	92
5.2.1 Мікроклімат .....	92
5.2.2 Освітлення.....	94
5.2.3 Шум .....	95
5.2.4 Вібрації.....	96
5.3 Техніка безпеки .....	97
5.3.1. Електробезпека.....	98
5.4 Пожежна безпека.....	103
5.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	105
5.5.1 Евакуаційні заходи.....	105
5.5.2 Розрахунок транспортного забезпечення проведення евакуаційних заходів.....	107
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>110</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>112</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>116</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день дизелями оснащено більше 90% вантажних автомобілів та понад 60% великих автобусів. Безперервно зростає і частка легкових автомобілів з дизельними двигунами. Підвищення експлуатаційних якостей та екологічних вимог призвело до появи акумуляторної системи живлення Common Rail.

Важкі умови експлуатації, низька якість палива, несвоєчасність діагностичних і профілактичних впливів часто призводять до того, що паливна апаратура Common Rail передчасно виходить з ладу. Пошук несправностей, а також їх усунення часто супроводжуються тривалими простоями автомобілів, що викликає великі збитки перевізників. Проблемну ситуацію породжують і існуючі методи діагностики. Існуючі методи діагностики не дозволяють з достатньою точністю визначати межі переходу технічного стану системи Common Rail від допустимого до граничного, при якому експлуатація автомобіля стає неефективною, веде до відмови паливної системи, дизельного двигуна і, як наслідок, всього автомобіля.

Загальною проблемою експлуатації автомобілів з системою Common Rail є факт того, що існуючі методи і засоби діагностування функціонально розрізнені. Одні з них малоінформативними, інші – недостатньо універсальні, треті – важко реалізувати. Це призводить до необґрунтованої повнокомплектною заміні вузлів, що пов'язано з великими фінансовими витратами, і зі значним недовикористанням ресурсу її дорогих елементів.

Таким чином, науково-практичне дослідження, спрямоване на удосконалення методів і методик діагностики автомобілів з системою живлення Common Rail, що дозволяють значно підвищувати ефективність експлуатації автомобілів за рахунок зниження часових, виробничих і фінансових витрат в умовах експлуатації є актуальним.

***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.***

Дослідження по темі магістерської роботи належить до основних наукових напрямків кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент» Вінницького національного технічного університету.

**Метою** магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності експлуатації автомобілів за рахунок застосування високоефективних методів діагностики системи живлення Common Rail в умовах експлуатації.

**Задачі** магістерської кваліфікаційної роботи:

- провести аналіз методів і засобів діагностування системи живлення Common Rail;
- проаналізувати принципи формування стратегій підтримки працездатності системи живлення Common Rail в умовах експлуатації;
- сформувати математичну модель, яка описує робочі процеси системи живлення Common Rail та, на основі даної моделі, виконати обґрунтування методів діагностування її технічного стану;
- розробити організаційно-технологічні рішення виконання робіт по діагностуванню, ТО і ремонту автомобілів на СТО «Bosch дизель центр «Алекс Дизель»;
- виконати аналіз потоку відмов та обґрунтувати стратегію експлуатації автомобілів з системою живлення Common Rail;
- удосконалити алгоритми діагностування системи живлення Common Rail.

**Об'єктом дослідження** є процес функціонування автомобіля з дизельним двигуном, оснащеним системою живлення Common Rail, при зміні параметрів її технічного стану в умовах експлуатації.

**Предметом дослідження** є закономірності зміни діагностичних параметрів, що відображають технічний стан системи живлення Common Rail, при впровадженні нових і вдосконаленні існуючих методів діагностики.

**Наукова новизна** роботи полягає в наступному:

- отримали подальший розвиток математичні моделі і методи оцінки зміни технічного стану елементів системи живлення Common Rail на



експлуатаційні показники автомобілів і двигунів, що дозволяють сформувавши ефективні методики діагностування їх технічного стану;

– удосконалено алгоритми діагностування системи живлення Common Rail за параметрами зміни тиску палива та динамічним методом.

**Практична цінність** роботи полягає у використанні розроблених алгоритмів діагностування системи живлення Common Rail за параметрами зміни тиску палива в акумуляторі та динамічним методом в сфері спеціалізовано автосервісу.

Результати виконаної роботи використані для покращання ефективності і якості робіт на станції технічного обслуговування автомобілів «Bosch дизель центр «Алекс Дизель».

**Апробація результатів.** Основні положення магістерської роботи доповідались на науково-технічній конференції Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020).

**Публікації.** За результатами виконання магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані 1 тези доповідей [29].

# 1 СТАН ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL. АНАЛІЗ РОБОТИ СТАНЦІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ «BOSCH ДИЗЕЛЬ ЦЕНТР «АЛЕКС-ДИЗЕЛЬ»

## 1.1 Сучасні тенденції розвитку систем живлення автомобілів з дизельними двигунами

Для виконання самих жорстких вимог щодо токсичності відпрацьованих газів, в зв'язку з особливостями процесу сумішоутворення в дизельному двигуні, паливо, що впорскується в ДВЗ автомобіля необхідно подрібнювати. Для цього виробникам доводиться значно збільшувати тиск упорскування і зменшувати діаметр отворів розпилювачів форсунок. Крім того, сам процес впорскування повинен бути дробовим, тобто паливо подається в циліндр порціями в строго певні моменти, по куту повороту колінчастого валу

Виконання цієї вимоги можливо лише шляхом електронного управління процесом подачі палива, наявності турбонаддува, сажевого фільтра, рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) і їх каталітичної очищення (SCR), рис. 1.1.

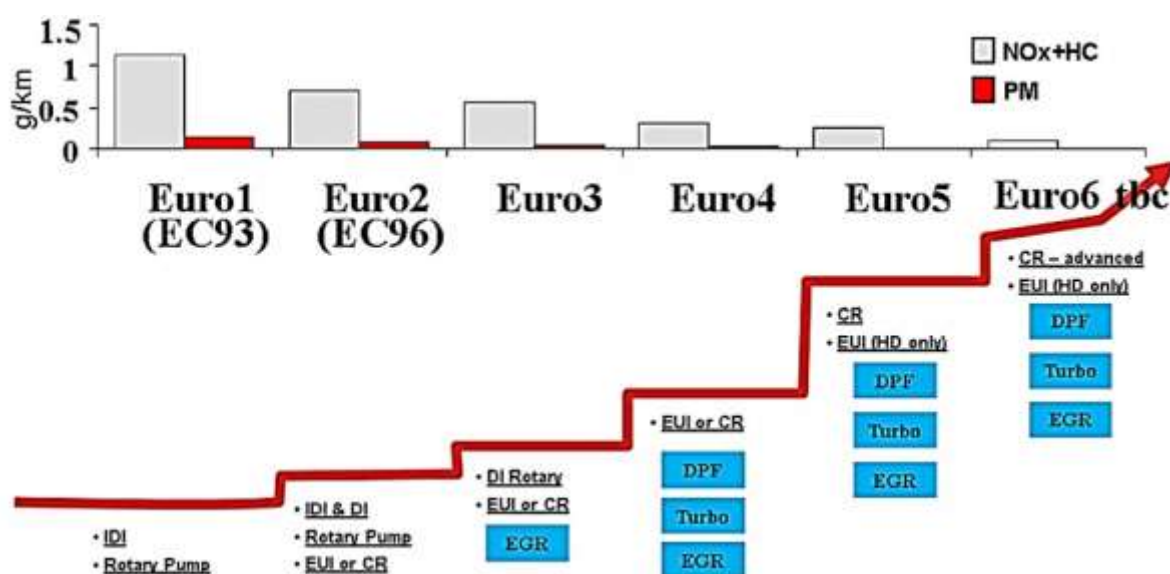


Рисунок 1.1 - Тенденції технологічного розвитку систем живлення в прив'язці до норм, які обмежують кількість шкідливих викидів з відпрацьованими газами

Практично всі відомі сучасні системи упорскування палива автомобілів з дизельними двигунами можна функціонально розділити на групи [9,11,12]:

- системи безпосереднього дії з механічним приводом;
- системи з паливними акумуляторами високого тиску (Common Rail (CR));
- системи безпосереднього дії з гідравлічним управлінням.

До першої групи належать системи подачі палива типу «насосфорсунка» і індивідуальні паливні насоси високого тиску (ПНВТ) з електронним управлінням. До другої – системи, звані Common Rail (англ. Загальна магістраль). До третьої – системи комбінованого типу, іменовані насос-форсунка з гідроприводом.

В даний час відомо кілька типів насос-форсунок з механічним приводом [12] (рис. 1.2). Всі вони можуть створювати високий тиск упорскування і мають порівняно високий гідравлічний і механічний коефіцієнт корисної дії. Що є одним з найбільш важливих переваг насос-форсунок перед системами Common Rail.

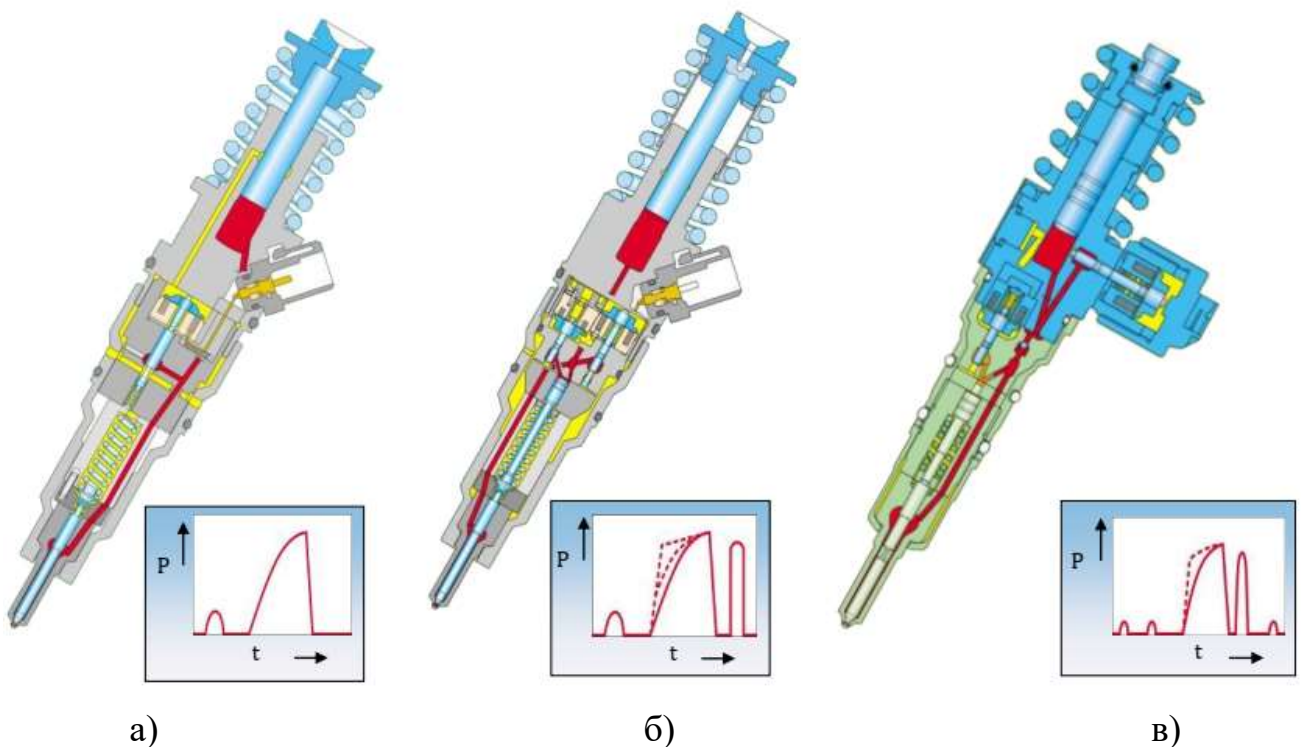


Рисунок 1.2 - Схеми насос-форсунок і профілі подачі палива, які вони забезпечують: а) двоконтактна, б) чотириконтактна вантажна, в) чотирьохконтактна легкова

Все вищевикладене також відноситься і до систем з індивідуальними ПНВТ (рис. 1.3), у яких, до того ж, ремонтпридатність вища, а трудомісткість обслуговування нижча. Посилення законодавства в сфері викидів шкідливих речовин в відпрацьованих газах призвело до вдосконалення процесів управління подачею палива насос-форсунок та індивідуальних ПНВТ. Конструктивно, в дані системи були включені додаткові клапани, а електричний вивід став містити чотири контакти.

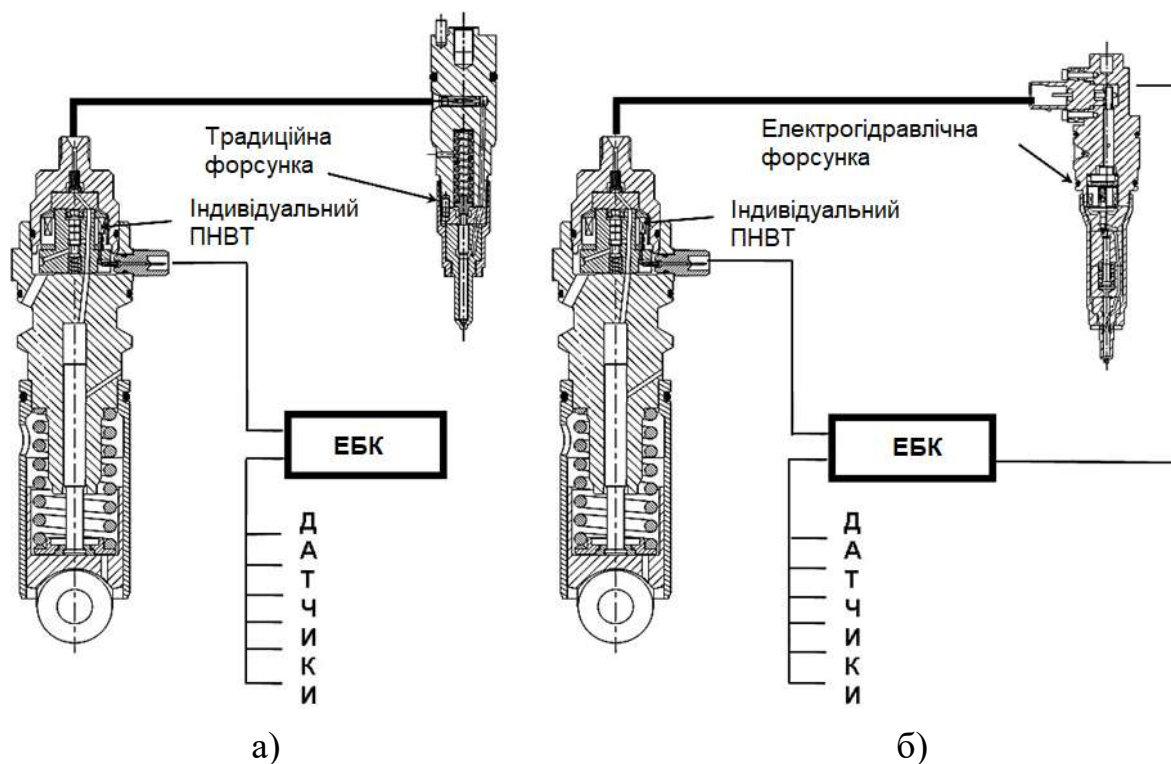


Рисунок 1.3 - Схема системи подачі палива з індивідуальними ПНВТ:  
 а) з форсункою традиційного типу б) з електрогідравлічної форсункою

Іншою перевагою насос-форсунок з механічним приводом і індивідуальними ПНВТ є їх істотно більш висока в порівнянні з системами з Common Rail довговічність. У більшості дизельних двигунів великої потужності для автомобілів великої вантажопідйомності застосовуються саме ці системи. Зокрема, це причина, по якій один з лідерів дизельного сегмента для комерційного транспорту – фірма Delphi не випускала донедавна систем CR для важких вантажних автомобілів і спецтехніки. Проте, посилення екологічних вимог (перехід до норм Євро-6)

привели до необхідності випуску комбінованих систем з Common Rail, де тиск створюється насос-форсунками, але створення високого тиску і момент упорскування розділені, завдяки наявності акумулятора [1,36].

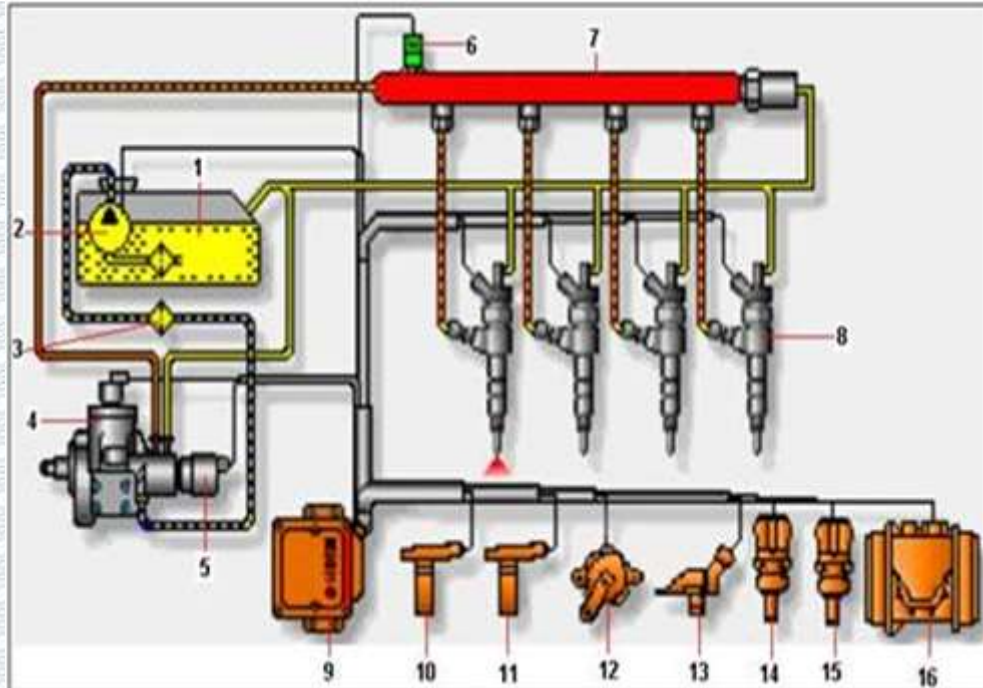
Найбільш істотною перевагою систем CR при їх використанні в автомобілях великої вантажопідйомності є практично необмежена можливість регулювання процесу упорскування за часом і можливість багаторазового впорскування. Такі можливості системи живлення стають особливо важливими в зв'язку з впровадженням на автомобілях з дизельними двигунами різних систем обробки відпрацьованих газів і розробкою альтернативних процесів згоряння палива.

Використання в системах упорскування з механічним управлінням кулачка для приводу плунжерного насоса істотно обмежує їх здатність забезпечити необхідне регулювання процесу упорскування і можливість багаторазового впорскування. Іншою перевагою системи упорскування Common Rail в порівнянні з системами упорскування з механічним управлінням є можливість точного регулювання моменту і обсягу палива, що впорскується, особливо на режимах холостого ходу і часткових навантаженнях.

Високий тиск в паливній системі створюється незалежно від частоти обертання колінчастого вала двигуна і кількості палива, що впорскується. Паливо, готове для упорскування, знаходиться під високим тиском в паливному акумуляторі. Кількість палива, що впорскується (циклова подача) визначається діями водія, а кут випередження і тиск упорскування визначаються електронним блоком керування (ЕБК) на основі програмованих матриць-характеристик, що зберігаються в пам'яті мікропроцесора. ЕБК подає керуючі пускові сигнали на відповідні електромагнітні клапани, в результаті чого здійснюється упорскування форсунками в кожен циліндр. Акумуляторна паливна система CR (Рис.1.4) включає в себе [1,36] наступні елементи електронного управління:

- ЕБК;
- датчик частоти обертання колінчастого вала;
- датчик частоти обертання розподільного вала;
- датчик положення педалі управління подачей палива;

- датчик тиску наддуву;
- датчик тиску в паливному акумуляторі;
- датчик температури охолоджуючої рідини.



1 – паливний бак; 2 – паливопідкачувальний насос; 3 – паливний фільтр; 4 – паливний насос високого тиску; 5 регулятор тиску; 6 – датчик тиску палива; 7 – паливна рампа; 8 – електрогідравлічні форсунки; 9 – електронний блок управління; 10 – датчик положення колінчастого валу; 11 – датчик положення розподільного валу; 12 – датчик тиску наддуву; 13 – датчик положення педалі газу; 14 – датчик температури повітря; 15 – датчик температури охолодної рідини; 16 – датчик масової витрати повітря

Рисунок 1.4 – Схема системи впорскування Common Rail

Використовуючи вхідні сигнали вказаних вище датчиків, і на основі отриманої інформації ЕБК здійснює управління виконавчими механізмами. Частота обертання колінчастого валу двигуна вимірюється датчиком частоти, а порядок чергування спалахів – датчиком положення розподільного валу. Електричний сигнал від датчика положення педалі управління «газ» інформує ЕБК про ступінь її натискання водієм, іншими словами, про заданий режим роботи двигуна. Датчик масової витрати повітря (тиску наддуву) забезпечує ЕБК даними про кількість повітря, для точного розрахунку циклової подачі палива.

Регулювання тиску палива в системі CR здійснюється за допомогою дозуючих пристроїв, виходячи з забезпечення рівності тиску, вимірюваного датчиком тиску в загальній магістралі, тиску, яке задано комп'ютером.

У системах упорскування палива Common Rail для легкових автомобілів і легких комерційних автомобілів для подачі палива до насоса високого тиску використовуються електричні або шестеренні паливopодкачуючі насоси (ППН або ПННТ). На важких комерційних автомобілях використовуються виключно шестеренні насоси.

Розглянемо конструктивні відмінності акумуляторних паливopодаючих систем [1].

Їх можна класифікувати за такими функціональними особливостями:

За способом регулювання високого тиску (рис. 1.5):

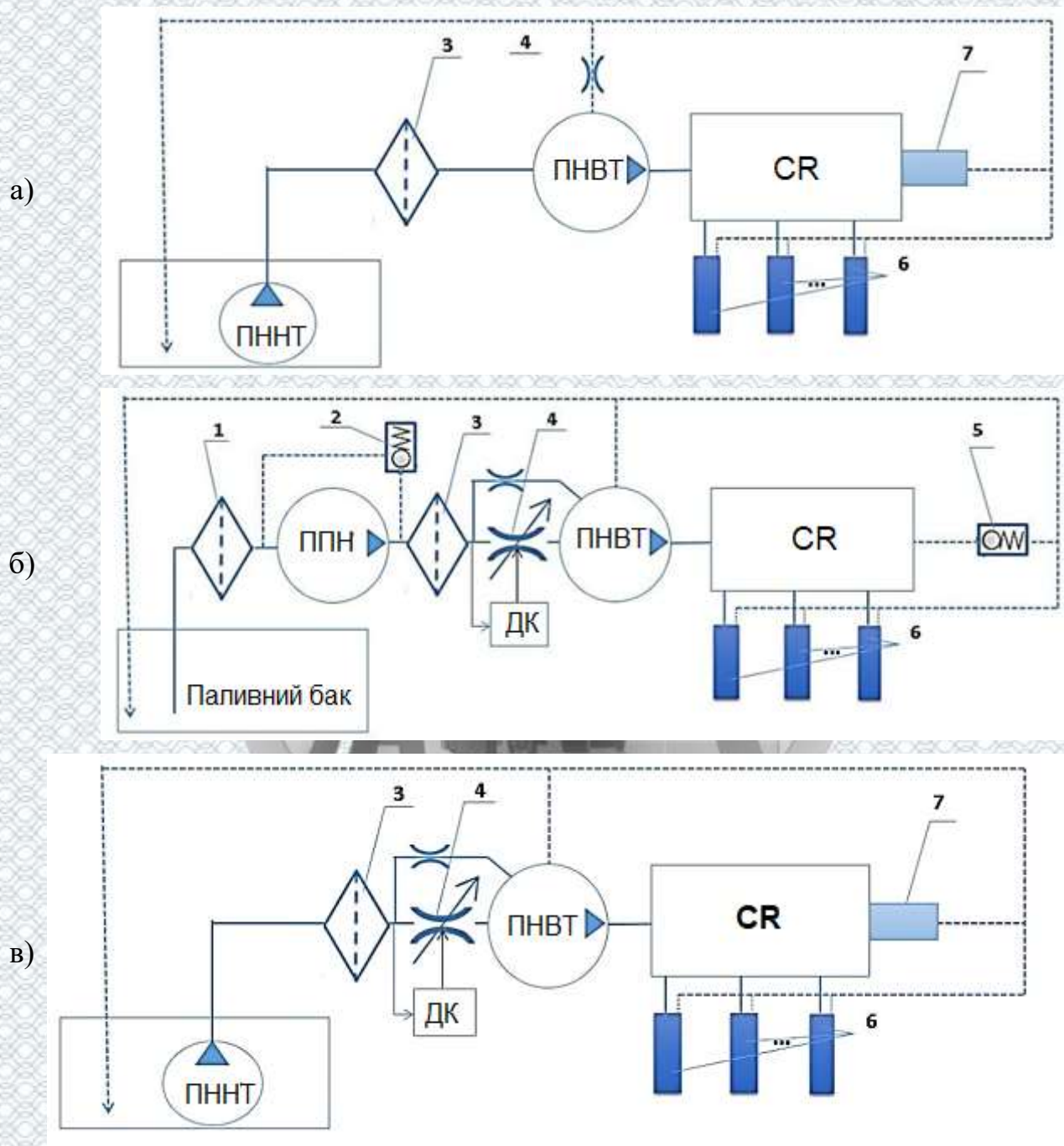
- скиданням надлишкового тиску через лінію високого тиску;
- регулюванням потоку на впуску в секції високого тиску ПНВТ;
- комбіновані (застосовуються обидва варіанти).

За типом приводу керуючих клапанів електрогідравлічних форсунок:

- з електромагнітним приводом;
- з п'єзоприводом.

Регулювання тиску палива методом перепуску з лінії високого тиску при високій швидкодії має істотний недолік – сильне нагрівання палива і знижений ККД приводу, тому в даний час не застосовується. Для усунення зазначеного вище недоліку використовується регулювання наповнення плунжерних пар на впуску. Але для високотехнологічних двигунів легкових автомобілів застосовується комбіноване регулювання. З одного боку це сприяє більш швидкій зміні тиску при необхідності його підвищення, з іншого боку перешкоджає жорсткої роботі двигуна на перехідних режимах.

При цьому способі регулювання тиску знижується надійність системи CR, тому на двигунах вантажних автомобілів і автобусів застосовується схема з регулюванням потоку на впуску.



1 - фільтр грубого очищення; 2 - редукційний клапан; 3 - фільтр тонкого очищення; 4 - прохідний перетин дозуючого пристрою; 5 - запобіжний клапан; 6 - електрогідравлічні форсунки, 7 - регулятор тиску, ДК - дозуючий пристрій (клапан)

Рисунок 1.5 - Види регулювання тиску в системі CR: а) регулювання методом скидання з лінії високо тиску; б) регулювання методом контролю потоку на вході в ПНВТ; в) комбіноване регулювання

Типова електрогідравлічна форсунка складається з таких функціональних блоків:



- безштифтовий розпилювач;
- гідравлічна система;
- електромагнітний клапан (або клапан з п'єзокристалом).

Паливо подається по магістралі високого тиску через підвідний канал до розпилювача форсунки, а також через дросельний отвір подачі палива - в камеру управління. Через дросельний отвір зливного жиклера, яке може відкриватися електромагнітним клапаном, камера з'єднується з магістраллю зворотного зливу палива.

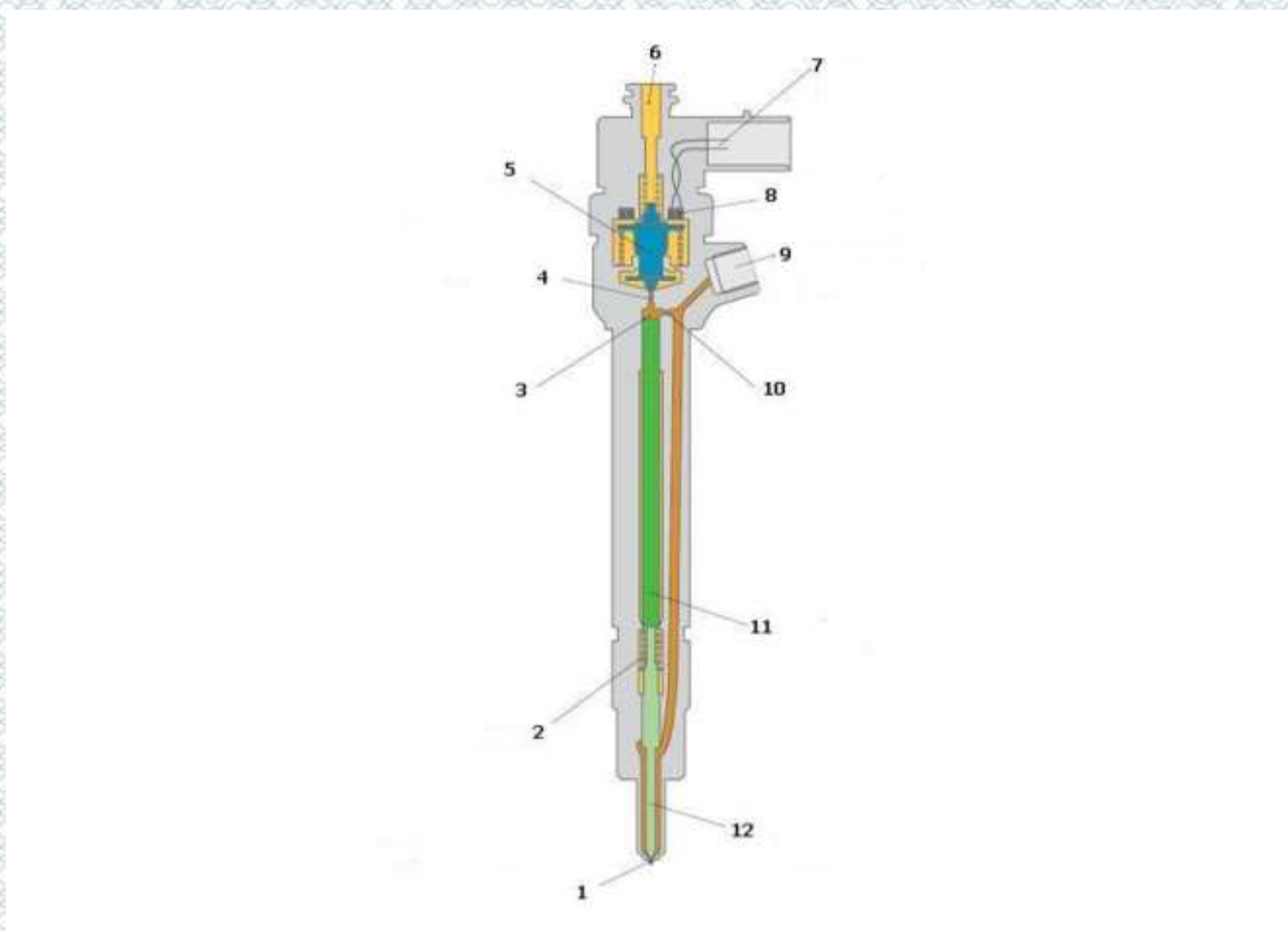
При закритому дросельному отворі 4 (рис. 1.6) гідравлічна сила, що діє зверху на плунжер-мультиплікатор, перевищує силу тиску палива знизу на конус голки розпилювача. Внаслідок цього голка притискається до сідла розпилювача і щільно закриває отвір розпилювача. В результаті паливо не потрапляє в камеру згоряння.

При спрацьовуванні електромагнітного клапана якір електромагніту рухається вгору, відкриваючи дросельний отвір 4 клапана. В результаті знижується тиск в камері управління 3 і сила тиску палива, що діє на плунжер мультиплікатора. Наповнювальний отвір дроселя 10 сполучається із зливним отвором дроселя 4. Під дією різниці сил тиску палива в порожнині розпилювача на конус, голка розпилювача відходить від сідла так, що паливо подається через отвір розпилювача в камеру згоряння циліндра.

Цикл роботи форсунки можна розділити на чотири такту [1,36]:

1. форсунка закрита (з подачею високого тиску);
2. форсунка відкривається (початок впорскування);
3. форсунка повністю відкрита;
4. форсунка закривається (кінець впорскування).

П'єзоприводи керуючих клапанів електрогідравлічних форсунок в системах CR вперше з'явився у форсунках фірми Siemens. Серед інших типів він є самим швидкодіючим. З цієї причини п'єзопривід був використаний в конструкціях форсунок інших провідних виробників паливоподаючих систем для легкових автомобілів: перш за все, Bosch, а також Denso і, в меншій мірі, Delphi.



1 - сопло форсунки; 2 - пружина; 3 - камера управління; 4 - зливний дросель; 5 - якір електромагніту; 6 - зливний канал; 7 - електричний роз'єм; 8 - обмотка збудження; 9 - штуцер підведення палива; 10 - впускний дросель; 11 - поршень; 12 - голка форсунки

Рисунок 1.6 – Будова електрогідравлічної форсунки

Завдяки своїм очевидним перевагам, п'єзоприводи керуючих клапанів електрогідравлічних форсунок встановлюється на переважній кількості випущених легкових і легких комерційних автомобілів, що оснащуються системами CR Bosch (а також Siemens). Однак спроби створення швидкодіючих електромагнітів не припинені до сих пір. Практика показала, що п'єзопривід має і недолік – його надійність нижче, ніж у електромагнітного приводу. Це проявляється зі збільшенням пробігу, тому що пакет п'єзоелементів піддається «старінню» і частковій або повній втрати первинних властивостей. На автомобілях комерційного призначення (вантажних середньої і великої потужності і автобусах) п'єзоприводи не застосовується, ні у фірми Denso, ні у фірми Bosch.

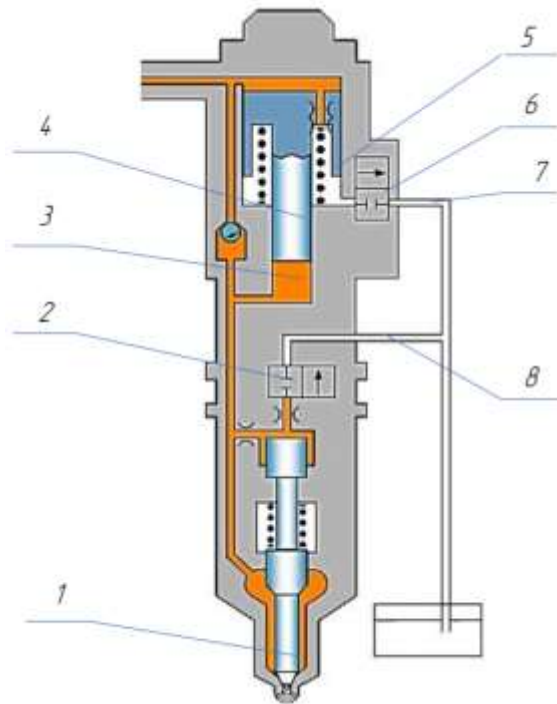
Електрогідравлічні форсунки фірми Delphi мають відмінну рису – всередині вони практично не мають регулювальних елементів. Тому для ефективного управління подачею палива ЕБК потрібна індивідуальна характеристика, що ідентифікується за допомогою літерно-цифрового кодування.

Електрогідравлічні форсунки фірми Bosch мають значно більше регулювальних елементів: ходу клапана, ходу голки розпилювача, магнітного зазору, попереднього натягу пружин розпилювача і електромагніту. Електрогідравлічні форсунки фірми Denso займають проміжне положення за складністю регулювання, тому теж дотримуються компенсації різниці характеристик з використанням літерно-цифрового кодування.

Для більшої адаптивності і пристосованості до самодіагностики сучасні електрогідравлічні форсунки можуть забезпечуватися вбудованим датчиком тиску і власним постійним запам'ятовуючим пристроєм з індивідуальними характеристиками. Типовим прикладом є підхід, реалізований в форсунках, що випускаються з 2010-12 років фірмою Denso. Вони отримали назву i-ART і можуть мати як електромагнітний, так і п'єзопривід. Фактична витрата палива, що впорскується в таких електрогідравлічних форсунках з урахуванням припущень представлена у вигляді трапеції. Завдяки наявності зворотного зв'язку, система бортової діагностики за задумом виробників повинна реєструвати навіть найменші відхилення в роботі. Однак такий тип форсунок набагато складніший, дорожчий і практично неремонтопридатний навіть в умовах спеціалізованих підприємств технічного сервісу систем живлення апаратури дизельних двигунів.

Застосування мультиплікатора тиску всередині електрогідравлічної форсунки дозволяє ще більше підвищити тиск упорскування палива. Схема такого типу електрогідравлічної форсунки приведена на рис. 1.7.

Таким чином, серед типів систем живлення, що застосовуються для автомобілів з дизельними двигунами, найбільш перспективною є акумуляторна паливоподаюча система (Common Rail).



1 - голка розпилювача; 2 - клапан управління голкою розпилювача; 3 - камера високого тиску; 4 - поршень-мультиплікатор; 5 - пружина; 6 - керуючий клапан підсилювача тиску; 7,8 - перепускні канали

Рисунок 1.7 - Схема електрогидравлічної форсунки з мультиплікатором тиску

## 1.2 Методи діагностики систем живлення автомобільних дизельних двигунів

Система живлення і складові її елементи можуть бути продіагностовано в стендових умовах (тобто зі зняттям паливної апаратури з автомобіля), а також безпосередньо на автомобілі.

Перша група методів (стендові випробування) виконуються, як правило, за допомогою спеціального обладнання по алгоритмам, умовам і параметрів, що визначаються фірмою-виробником. Однак існують і альтернативні методики, які часто не тільки не поступаються в інформативності і оперативності, але часом навіть і перевершують їх [18,25].

Елементи, що входять в контур низького тиску (фільтри, забірники, паливопідкачуючі насоси) перевіряються ідентично іншим елементам гідравлічних

систем і систем живлення [3,9,40]. Як правило, в якості параметрів технічного стану виступають: перепад тисків на вході і виході з фільтру, тиск (в тому числі максимальний), що розвивається ППН і подача при робочому тиску. Найчастіше ППН конструктивно розташований в корпусі ПНВТ і перевіряється разом з ним.

Елементи високого тиску можуть бути перевірені окремо або спільно. Перший варіант є більш поширеним і переважним, проте, стенд буде містити функціонально аналогічні елементи. Розглянемо стендові методи діагностики стосовно до систем живлення Common Rail.

ПНВТ системи Common Rail перевіряються за такими параметрами [9]:

- час, за який ПНВТ накачає в акумуляторі паливо до певного тиску при заданій частоті обертання валу насоса і повністю закритому регуляторі тиску в пусковому режимі;
- продуктивність з повністю відкритим регулятором тиску;
- продуктивність при дискретному варіюванні тиску в акумуляторі і фіксованих частотах обертання валу насоса;
- час досягнення заданого тиску при фіксованій частоті обертання і частково відкритому регуляторі тиску та ін.

Дозуючі пристрої (регулятори потоку) перевіряються по продуктивності ПНВТ в сталому режимі при подачі певного струму і скважності.

Паливні акумулятори також можуть бути перевірені в стендових умовах і в цьому випадку необхідно пристрій (ПНВТ) для створення високого тиску. Система CR герметизується, після чого в неї подається паливо з заданим тиском і перевіряється герметичність аварійного клапана, або регулятора тиску, а також правильність показань датчика тиску.

При випробуваннях електрогідравлічних форсунок на спеціалізованих стендах може перевірятися широкий спектр параметрів. У необхідний мінімум показників входять циклова подача на режимах і витрата палива на управління, що задаються в рамках тест-плану: режим статичного виток, режим повного і часткового навантаження, режим холостого ходу, режим впорскування малих доз палива (передвпорскування) [5,9, 18].

Зазначений перелік тестів задається зміною тиску на вході в електрогідравлічну форсунку і тривалістю імпульсу. Кількість режимів на розсуд фірми-виробника може бути більше. В якості додаткових параметрів можуть бути виміряні: тиск палива на вході в форсунку; температура палива, що йде на злив; опір і індуктивність магніту; ємність п'єзопакета; час відгуку форсунки (різниця між початком керуючого імпульсу і початком подачі; витрата палива і її форма).

Хоча стендова перевірка елементів системи живлення дає вичерпну інформацію про їх технічний стан, представляється перспективним розвиток методів її діагностики без зняття з автомобіля.

Найбільш поширені і інформативні безстендові методи діагностики систем живлення можна представити у вигляді декількох функціонально узагальнених груп. Першу групу представляють методи функціонального діагностування за основними показниками роботи двигуна, наприклад, за його потужністю або потужністю окремих циліндрів, другу групу становлять методи, пов'язані з аналізом робочого процесу двигуна, третю – віброакустичні методи, і четверту – гідравлічні методи, зокрема по амплітудно фазовим параметрам зміни тиску в паливній магістралі високого тиску.

Розглянемо першу групу методів. На автомобілі тестовий вплив можна задати у вигляді перехідного динамічного режиму, з відключенням частини циліндрів (циклів) і їх комбінації, в тому числі, в поєднанні з навантажувальними пристроями. Безстендові методи діагностування набули широкого поширення завдяки відсутності зовнішніх навантажуючих пристроїв і простоті в реалізації. З появою і розвитком електронних систем управління ДВЗ безстендові тестові режими можуть бути задані на програмному рівні блоків управління у вигляді алгоритмів, що реалізують процес тестового діагностування [37,39,40].

Одним з перших безстендових тестових режимів з'явився метод, заснований на відключенні циліндрів [10,22]. У найпростішому його варіанті, циліндр що перевіряється, при відключенні змінює рівномірність роботи двигуна і частоту обертання колінчастого вала (в разі відсутності системи стабілізації холостого

ходу). Даним методом можна перевірити лише відносну працездатність циліндра. При цьому достовірність контролю знижується зі збільшенням кількості циліндрів.

Професором М.С. Ждановським запропонований спосіб оцінки потужнісних показників чотирициліндрового дизеля по частоті обертання, що розвивається колінчастим валом в режимі повної подачі палива в циліндрі, що перевірявся, і відключенні трьох, що залишилися. Працюючий циліндр виявляється повністю завантаженим механічними втратами самого двигуна. Залежно від протікання робочого процесу, стану паливної апаратури, повітряного тракту двигун буде розвивати на одному циліндрі більшу чи меншу частоту обертання [15]. В межах спостережуваних відхилень потужності циліндра, внаслідок несправностей та порушення регулювань, залежності середнього індикаторного тиску від частоти обертання  $p_i=f(n)$  коректорної гілки швидкісної характеристики дизельного двигуна є еквідистантними. Це справедливо і для середнього ефективного тиску, а значить, і для ефективного крутного моменту і ефективного потужності.

Паливні показники, одержувані в безгальмівному режимі випробувань двигуна, дозволяють оцінювати регулювання ПНВТ і економічність робочого процесу. Це досягається шляхом порівняння вимірюваних параметрів з відповідними нормативними величинами для двигуна даної марки в справному стані. Необхідну інформацію про паливну економічність дає замір годинної витрати палива одним циліндром.

Перевагами безгальмового методу є простота, доступність, оперативність, можливість визначення показників, що характеризують технічний стан циліндрів, але достовірні надійні результати можуть бути отримані тільки при ретельному дотриманні теплового режиму двигуна.

Подальше вдосконалення методу відключення циліндрів відображено в роботах проф. І.П. Терських [37]. Він запропонував застосування так званого парціального методу діагностики. Його суть полягає в тому, що двигун відчувають по групах відключених і працюючих циліндрів в режимі повної подачі палива.

Працюючі циліндри навантажуються механічними втратами виключених циліндрів і зовнішнім регульованим довантаженням.

Серед відомих безстендових і перспективних методів вигідно виділяється динамічний метод діагностики [13,14,16,17]. Він базується на рівнянні динаміки розгону обертових мас поршневого ДВЗ [31]:

$$I_d \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dI_d}{d\varphi} = M_i - M_m - M_{сп}, \quad (1.1)$$

де  $I_d$  - приведений момент інерції; кг·м<sup>2</sup>;

$\frac{d\omega}{dt}$  - кутове прискорення колінчастого вала, рад / с<sup>2</sup>;

$\omega$  - кутова швидкість колінчастого вала, рад / с;

$M_i, M_m, M_{сп}$  - відповідно індикаторний момент, момент механічних втрат і зовнішній (споживаний) момент двигуна, Н·м.

Вважаючи для безстендового навантаження зовнішній момент  $M_{сп} = 0$ , запишемо рівняння безгальмівного режиму в загальному вигляді:

$$I_d \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dI_d}{d\varphi} = M_i - M_m. \quad (1.2)$$

Вимірювання кутової швидкості і прискорення в даний час не викликає труднощів і, завдяки відносній стабільності приведенного моменту інерції обертових мас для однієї марки двигуна, дозволяє визначати такі діагностичні параметри:

1. Ефективну потужність – щодо прискорення обертових мас;
2. Потужність механічних втрат – по уповільненню обертових мас;
3. Баланс потужностей циліндрів – виділенням окремих складових прискорень на такті робочого ходу в процесі розширення;
4. Відносну герметичність циліндрів за величиною уповільнення колінчастого вала в діапазоні малих частот обертання (холостого ходу і пускових оборотів).



Віброакустичні методи діагностики паливної апаратури мають високу привабливість, завдяки оперативності та відсутності підготовчих розбірно-складальних операцій. Найбільш популярним серед них є метод, заснований на аналізі сигналу накладного п'єзодатчика в процесі впорскування палива. Діагностичним параметром в цьому випадку є пульсація трубки високого тиску, збільшення діаметра якої залежить від матеріалу трубки, геометричних розмірів, а також від перепаду тиску [19]:

$$\Delta D = \frac{2D\Delta p}{E\left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right)}, \quad (1.3)$$

де  $D$  і  $d$  - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри трубки високого тиску;

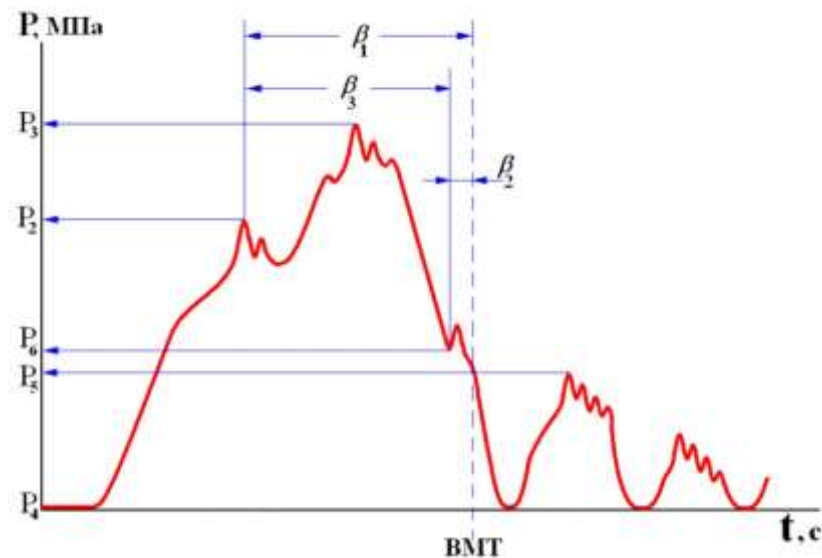
$\Delta p$  - перепад тисків з внутрішньої і зовнішньої сторони трубки високого тиску;

$E$  - модуль пружності матеріалу трубки високого тиску.

При всій своїй привабливості, даний метод має і недоліки, пов'язані з необхідністю застосування інтегруючих підсилювачів і сильній залежності від характеристик трубок високого тиску. При цьому пульсація відображає якісну картину зміни тиску при нагнітанні і упорскуванні палива, що дозволяє використовувати даний метод тільки в порівнянні однойменних осцилограм процесу один з одним, тобто він є відносним. Згадок в літературі про можливість застосування даного методу для діагностики системи живлення Common Rail не виявлено.

Група методів діагностики паливної апаратури на основі гідравлічних параметрів є великою і широко застосовується. Діагностичними параметрами при цьому є тиск палива та/або витрата при певному тиску. Знос плунжерних пар ПНВТ визначають по максимальному тиску, що ними розвивається, за допомогою максиметра або еталонних форсунок. Тиск впорскування форсунок перевіряють без зняття, спеціальними мотор-тестерами. Кут впорскування визначається, як правило, або статичним способом по моментоскопу, або стробоскопічним способом.

Але набагато більше інформації про технічний стан лінії високого тиску, зокрема: плунжерних пар, нагнітальних клапанів і форсунок окремих циліндрів, несе осцилограма високого тиску палива на вході в форсунку дизеля (рис. 1.8).



$P_2$  - початковий тиск відкриття форсунки;  $P_3$  - піковий тиск у форсунки;  $P_4$  - залишковий тиск в магістралі високого тиску;  $P_5$  - максимальна амплітуда коливань тиску в трубопроводі;  $P_6$  - тиск закриття форсунки;  $\beta_1$  - кут випередження впорскування;  $\beta_2$  - кут закриття форсунки;  $\beta_3$  - кут тривалості упорскування  $\beta_3 = \beta_1 - \beta_2$

Рисунок 1.8 - Осцилограма високого тиску палива на вході в форсунку дизеля

Аналіз методів і засобів діагностики системи CR показує, що її діагностування на автомобілі проводиться наступними засобами:

- засобами бортовий самодіагностики;
- спеціалізованими комплектами (осцилографами, мотор-тестерами і ін.);
- автомобільними сканерами.

Використовувані при цьому діагностичні параметри можна умовно розділити на три групи: параметри, засновані на вимірі кутовий швидкості в тестових режимах; електричні параметри (напруга, скважність, струм, активний опір, імпеданс); гідравлічні параметри (тиск і витрата палива в магістралях низького і високого тиску).

Електричні параметри, як правило, добре контролюються за допомогою вбудованої системи самодіагностики. В першу чергу надійно розпізнаються такі стани як обрив або коротке замикання виконавчих елементів і датчиків. Струм в виконавчих елементах використовується ЕБК в режимі зворотного зв'язку і є цінним діагностичним параметром. Наприклад, для визначення загального технічного стану системи живлення CR, аналізується середнє значення струму управління клапаном, що регулює тиск у загальній магістралі, а також заданий і фактичний тиск. Дана перевірка здійснюється як у функціональному режимі на холостому ходу, так і тестовому, коли ЕБК збільшує тиск до певного значення (аж до максимально можливого). При наявності витоків струм управління регулятором тиску змінюється – це і служить сигналом зворотного зв'язку системи.

Діагностика системи живлення CR за вказаним вище параметром можлива тільки при справності електромагнітного дозуючого пристрою. Оскільки, його тестування окремо від ПНВТ не передбачено, підприємствам фірмового технічного сервісу рекомендовано здійснювати перевірку методом заміни на справний (новий).

Діагностування системи живлення CR за параметрами гідравлічних процесів може здійснюватися, як за допомогою засобів бортовий самодіагностики, так і зовнішніми універсальними засобами діагностування. Найбільшу популярність і точність серед них має замір витрати палива в вузлових точках, наприклад, на зливання в зворотну магістраль з електрогідравлічних форсунок.

Тест на замір зворотного зливу для збільшення чутливості може бути доповнений підвищенням тиску в паливній рампі, а також перехідними режимами (розгін-вибіг). Достовірність визначення технічного стану електрогідравлічних форсунок по їх герметичності досить висока. При всій привабливості і простоті, замір зворотного зливу з кожної форсунки на більшості вантажних автомобілів (і ряду легкових) досить трудомісткий.

Технічний стан ПНВТ безпосередньо на автомобілі перевіряється, як правило, по максимальному тиску, що розвивається [23,25]. У цього методу існують два різновиди. У першому випадку, тиск вимірюється безпосередньо

окремим приладом, що має акумулятор тиску і датчик тиску (Delphi, Bosch та ін.), А в другому – тиск вимірюється штатним датчиком тиску в акумуляторі, який герметизується за допомогою різьбових заглушок (NexTech). Тестовим режимом в обох випадках є режим прокручування колінчастого вала двигуна стартером.

Значну перспективу і поширення в даний час отримали системи вбудованого (бортового) діагностування [3,35]. У кожного сучасного автомобіля застосовується система самодіагностики OBD (On Board Diagnosing), а в перспективі OBM (On-Board-Measurement). Її наявність стала обов'язковою для дизельних автомобілів з 2004 року (а для вантажних з 2006 року). В цілому функціонально ця система аналогічна системі OBD бензинових автомобілів і забезпечує постійний контроль всіх агрегатів, систем і вузлів, що мають відношення до відпрацьованим газам.

Спільними завданнями системи OBD є:

- контроль технічного стану агрегатів, систем механізмів і вузлів автомобіля, що впливають на підвищення токсичності відпрацьованих газів;
- захист компонентів (нейтралізаторів, сажових фільтрів і ін.) від перегріву і руйнування;
- запис і зберігання інформації про несправності що виникали;
- реєстрація умов експлуатації в момент виникнення несправності;
- інформування водія.

Проте навіть найпотужніша діагностична бортова система самодіагностики не в змозі врахувати всіх можливих поєднань технічного стану електронної системи керування двигуном (ЕСКД) і системи живлення СР. Це пов'язано з тим, що ЕБК не в змозі вирішувати одночасно сукупність систем складних нелінійних диференціальних рівнянь, що описують процес функціонування системи СР, ЕСКД і ДВЗ і в той же час відігравати ключову роль в управлінні процесами подачі палива, подачі повітря, зниження токсичності відпрацьованих газів тощо [35,40]. Тому діагностичні коди несправностей базуються на аналізі сукупності поточних параметрів і методах нечіткої логіки.

У складних випадках вони є лише відправною точкою для пошуку несправностей, а іноді можуть пустити і по хибному шляху. Це відбувається тому,

що перевірка системи OBD і її компонентів відбувається лише побічно. Зокрема, не визначаються граничні випадки, коли окремі системи (в тому числі система CR) хоч і працюють в допустимих межах, але в сумі ці допуски видають, наприклад, перевищення допустимих концентрацій шкідливих речовин. Розпізнавання причин несправностей і прогнозування появи нових за допомогою OBD дуже складно і вимагає великого досвіду оператора-діагноста.

Ефективність діагностики за допомогою сканерів, які отримують доступ до вмісту ЕБК, залежить від досконалості їх програмного забезпечення. У випадках, коли автомобіль не заявлений у списку підтримки сканера, а також при пошкодженні діагностичного роз'єму подальше діагностування подібним засобом діагностування неможливо. Для підвищення інформативності контролю технічного стану та для пошуку несправностей програмне забезпечення сканерів реалізує певні алгоритми, тестові режими, активаційні тести та ін. Різні виробники ЕСКД закладають в них різні можливості [1,36].

Як висновок можна сказати, що єдиного універсального методу і засобу технічної діагностики автомобілів з системою живлення CR в умовах експлуатації не існує. Технічний прогрес і ускладнення конструкції робить двигун все менш придатним для діагностування традиційними методами і засобами. Система бортової самодіагностики не в змозі цілком і повністю відповідати широкому спектру завдань, що виникають в експлуатаційних умовах, що породжує проблемну ситуацію, на розв'язання якої спрямована справжня робота.

### **1.3 Аналіз виробничої діяльності станції технічного обслуговування автомобілів «Bosch дизель центр «Алекс-Дизель»**

#### **1.3.1 Загальна характеристика підприємства**

Станція технічного обслуговування автомобілів «Bosch дизель центр «Алекс Дизель» (надалі «Алекс Дизель») це спеціалізоване автосервісне підприємство, яке

виконує роботи по обслуговуванню та ремонту дизельної паливної апаратури. Підприємство було засновано в 2007 році, і на сьогоднішній день має великий досвід в ремонті дизельної паливної апаратури, а якість робіт вдома навіть за межами Вінницької області. СТО «Алекс Дизель» розташовано в приміській зоні м. Вінниці (Хмельницьке шосе 2 км (Траса Е50)) в с. Зарванці, вул. Молодіжна 14..

Основними видами робіт «АлексДизель» є:

- Діагностика систем живлення та паливної апаратури дизельних двигунів;
- Промивка паливної системи, чистка форсунок
- Ремонт форсунок, насос-форсунок, ПНВТ, Common Rail та інших елементів;
- Роботи по супутньому ремонту двигуна, які не потребують спеціалізованого обладнання;
- Продаж запчастин тощо.

Метою підприємства є одержання максимального прибутку від своєї виробничої діяльності.

Висока якість надаваних послуг забезпечується наявністю потужної діагностичної та ремонтної базою, яка представлена чотирма постами для легкових автомобілів і мікроавтобусів, а також трьома постами для вантажних автомобілів. Сформована потужна база високоякісних комплектуючих, налагоджена система їх поставки.

Високкокваліфіковані фахівці сервісного центру мають великий досвід роботи з різними типами паливної апаратури дизельних двигунів, що в поєднанні з наявними високотехнологічним устаткуванням і оснащенням, дозволяє зробити ремонт швидко і якісно. Раціональне розміщення ремонтних постів, ідеальна чистота в ремзоні і службових приміщеннях, використання тільки високоякісного інструменту, ввічливість і ввічливість персоналу є конкурентними перевагами сервісного центру.

Підприємство надає свої послуги широкому спектру клієнтів, як власникам приватних автомобілів, так і юридичним особам. «Алекс Дизель» виконує роботи по всім видам автомобілів, як легкових, так і вантажних. Роботи виконуються по

заявці власника, який приїжджає на своєму автомобілі в сервісний центр, де виконується діагностика автомобіля та системи живлення, визначаються несправності та виконуються відповідні ремонтні роботи. Також підприємство виконує ремонт дизельної паливної апаратури, яка поступає на ремонт вже демонтованою з автомобіля, в тому числі і по заявкам інших автосервісних підприємств, які не мають власної відповідної ремонтної бази.

### 1.3.2 Дослідження ринку послуг СТО

Ринком автосервісних послуг є сукупність існуючих та потенційних споживачів цих послуг.

Зрозуміло, що надавач сервісних послуг не може охопити весь ринок, тобто надавати всі види послуг по ТО та ремонту всіх моделей автомобілів з причин обмеженості його матеріальних, фінансових та людських ресурсів. Це призводить до розбиття ринку на окремі однорідні частини – сегменти на основі відмінностей в потребах, поведінці споживачів, або характеристиках продукту називається сегментацією ринку.

Сегмент ринку є сукупністю споживачів, які однаково реагують на той же самий набір стимулів, що спонукають їх до придбання матеріального продукту або послуги.

Сегментування ринку автосервісних послуг центру «Алекс Дизель» можна сформулювати таким чином:

1) географічною, або за місцем надання послуг:

– місто Вінниця та Вінницька область;

2) за типом, марками або моделями автомобілів:

– легкові дизельні автомобілі з усіма видами системи живлення;

– вантажні дизельні автомобілі з усіма видами системи живлення;

3) за типом клієнтів:

– приватні власники;

– автотранспортні підприємства;

– інші автосервісні підприємства на договірних умовах;

4) за категоріями або видами підприємства:

– спеціалізоване з надання ремонтних послуг по системам живлення дизельних двигунів.

Аналізуючи інші автосервісні підприємств, які можуть надавати послуги з ремонту систем живлення дизелів, можна прийти до висновків, що, враховуючи потужну виробничу базу, кваліфікований персонал і досвід роботи на ринку, СТО «Алекс Дизель» не має прямих потужних конкурентів в Вінницькій обл.. Ряд фірмових СТО у Вінницькій області виконують певний, але обмежений перелік робіт по ремонту паливної апаратури, але у складних випадках, через відсутність дорогого спеціалізованого обладнання, також звертаються за послугами до «Алекс Дизель».

### 1.3.3 Аналіз показників роботи підприємства

Прибуток підприємства «АлексДпзель» формується за рахунок виконання робіт по ТО і ремонту автомобілів, а також за рахунок продажу запчастин.

Аналіз основних показників виробничо-господарської діяльності СТО «Алекс Дизель» наведемо в таблиці 1.1.

Визначмо динаміку показників табл. 1.1:

Таблиця 1.1 – Аналіз основних показників виробничо-господарської діяльності

Показники	2016р.	2017р.	2018р.
1. Обсяг робіт, люд.-год.	16820	16980	17550
2. Прибуток від послуги з ТО і Р, грн	807360	891450	921375
3. Прибуток від продажу запчастин, грн	177619	222862	221130

$$I_{A_i} = \frac{A'_i}{A_i}, \quad (1.4)$$



$$T_{\text{річ}}^{16-17} = \frac{16980}{16820} = 1,01; T_{\text{річ}}^{17-18} = \frac{17550}{16980} = 1,03;$$

$$П_{\text{ТО,Р}}^{16-17} = \frac{891450}{807360} = 1,1; П_{\text{ТО,Р}}^{17-18} = \frac{921375}{891450} = 1,03;$$

$$П_{\text{Зч}}^{16-17} = \frac{222862}{177619} = 1,25; П_{\text{Зч}}^{17-18} = \frac{221130}{222862} = 0,99.$$

Як бачимо, на протязі останніх років має місце покращення показників виробничо-господарської діяльності сервісного центру, хоч і не значно.

#### 1.4 Характеристика ВТБ підприємства

Територія сервісного центру «Алекс Дизель» прямокутної форми (див. рис. Б.1). Площа території 0,28 га без урахування площі заїзду і стоянки для клієнтів. Тип забудови СТО блокований. Всі адміністративні і побутові приміщення зібрані в одній будівлі.

На території сервісного центру є стоянка автомобілів, обладнане місце відпочинку для клієнтів станції.

Заїзд на територію підприємства здійснюється з траси Е50 (Хмельницьке шосе 2км) біля повороту до с. Зарванці. Для виїзду вантажних автомобілів використовується додатковий виїзд на вул. Мечникова, який розташований навпроти виїзних воріт поста для вантажних автомобілів.

Основна будівля кутової форми. Віна одноповерхова, має різну висотність. Розміри виробничого корпусу (30x19)+(9,9x14)м. В якості несучих конструкцій використано несучі цегляні стіни. Товщина зовнішніх стін 500 мм. Висота стелі в ремзоні 6м, інші приміщення – 3м. Планувальне рішення виробничого корпусу показано на рис. Б.2.

В корпусі розташовані наступні приміщення:

- зона ТО і ПР автомобілів;
- дільниця ремонту ПНВТ;
- дільниця ремонту форсунок і насос-форсунок;

- дільниця промивки паливної апаратури;
- склад;
- магазин;
- адміністративні приміщення;
- кухня (кафе.)

В зоні ТО і ПР (див. рис. Б.2) розташовано 4 тупикових паралельних пости ТО і ПР легкових автомобілів, 3 з яких обладнані оглядовими канавами. Для ТО і ПР вантажних автомобілів використовується схема з послідовним проїздом розташуванням постів. На даний пост може бути встановлено до 3 вантажних автомобілів в залежності від їх довжини (як показано на рис Б.2 на прикладі 3-х сідлових тягачів).

СТО обладнана сучасним діагностичним та ремонтним стендовим обладнанням фірми Bosch та рядом спеціалізованого фірмового обладнання окремих автовиробників. В ремзоні сервісного центру використовуються спеціалізовані сканери та мотортестери фірми Bosch та інших відомих виробників. В ремзоні виконуються діагностичні роботи по двигуну і системі живлення. За результатами діагностування приймається рішення про демонтаж / монтаж вузлів системи живлення і їх відправлення на виробничі дільниці. За потреби в рем зоні виконуються додаткові (супутні) роботи по ТО і ПР автомобіля.

На виробничих дільницях використовуються стенди перевірки і ремонту ПНВТ і форсунок різних типів (переважно фірми Bosch). Роботи, які виконуються на дільницях передбачають стендове діагностування ПНВТ, форсунок регуляторів тощо, а далі майстер-ремонтник призначає і виконує необхідні ремонтні та / або регулювальні роботи.

На СТО встановлена сучасна система вентиляції, обладнана кімната для відпочинку клієнтів.

Аналіз переліку обладнання показав достатність для забезпечення ТО і ПР паливної апаратури дизельних автомобілів.

Проаналізувавши стан ВТБ СТО можна зазначити, що ВТБ придатна для виконання якісного ТО і ремонту паливної апаратури автомобілів. Завантаженість

ВТБ досить висока, тому підвищення її ефективності передбачає покращення технологічних процесів виконання робіт, і в першу чергу діагностичних. Це дозволить знизити трудовитрати робітників на виконання певних видів робіт, а також зайвий демонтаж обладнання високого тиску.

## 1.5 Висновки

1. Процес розвитку систем живлення дизелів пройшов довгий шлях від простих механічних систем живлення до систем живлення Common Rail. Аналіз конструкції різних типів систем живлення показав, що серед типів систем живлення, що застосовуються для автомобілів з дизельними двигунами, в сучасних умовах технічних і екологічних обмежень, найбільш перспективною є акумуляторна система живлення (Common Rail).

2. Аналіз існуючих методів і засобів діагностування показав, що вони або недостатньо досконалі і універсальні, або важко реалізуємі в експлуатаційних умовах. З огляду на різномарочність наявної автотранспортної техніки, поряд з необхідністю вдосконалення функціональних можливостей бортової системи самодіагностики, особливої актуальності набуває необхідність вирішення проблеми адаптації зовнішніх універсальних методів і засобів загального та поелементного експрес діагностування системи живлення Common Rail до умов експлуатації. Найбільш перспективними є динамічні методи, засновані на аналізі перехідних процесів.

3. Виконавши аналіз маркетингового середовища, показників роботи та структури і стану ВТБ СТО «Bosch дизель центр «Алекс Дизель», можна зробити висновок, що на підприємстві створена досить непогана організаційно-виробнича структура, проте велика завантаженість обладнання і ремонтних робітників потребує удосконалення технологічних процесів, а перш за все процесів діагностування, що дозволить краще використовувати виробничі потужності.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL

### 2.1 Вплив технічного стану системи живлення Common Rail на експлуатацію автомобіля

Найважливіші експлуатаційні показники автомобіля в значній мірі залежать від технічного стану систем, що входять до нього, і їх спільного функціонування, а також вибору стратегії підтримки та відновлення працездатності. Тому дослідження проблеми розробки високоефективних методів діагностування систем живлення CR має розглядатися в системі «Акумуляторна система живлення Common Rail – Дизельний двигун внутрішнього згоряння – Автомобіль – Середовище», надалі система CRДАС.

Системний підхід дозволить, по-перше, найбільш повно відобразити закономірності впливу технічного стану системи живлення CR в складі ЕСКД на вихідні експлуатаційні показники автомобіля з дизелем; по-друге – дослідити зв'язки параметрів технічного стану системи живлення CR в складі ЕСКД з діагностичними параметрами; по-третє – обґрунтувати і розробити оперативні та інформативні методи діагностування системи живлення CR в складі ЕСКД; по-четверте – обґрунтовано призначати діагностичні нормативи і режими діагностування.

На ефективність експлуатації автомобіля з системи живлення CR впливає технічний стан системи живлення CR і стратегія, що управляє цим станом на основі проведення ремонтно-профілактичних впливів. Фактори управління технічним станом системи живлення CR містять три складові, що характеризують стратегію експлуатації: Д – діагностика; ТО технічне обслуговування (підтримка працездатності); Р – ремонт (відновлення працездатності). Кожен з факторів впливає на систему в цілому через підсистему системи живлення CR і формує вихід, що дозволяє визначити цільову функцію всієї системи і підсистем.

Показники ефективності системи «CRDAS» формують множину  $E_i \in U (E_1, E_2 \dots E_n)$ , до якого можна віднести: витрати на експлуатацію автомобіля при прийнятій системі обслуговування і ремонту; паливну економічність автомобіля, що виражається витратою палива на одиницю пройденого автомобілем шляху; пускові якості дизельного ДВЗ та ін.

Загальною цільовою функцією є мінімізація сумарних витрат або питомих витрат на експлуатацію, до яких відносяться витрати праці, витрати енергії і грошових коштів.

Для автомобілів з дизельними двигунами, оснащеними сучасними акумуляторними системами живлення можуть застосовуватися три стратегії підтримки та відновлення працездатності [21]:

1. Стратегія, яка зводиться до усунення відмов і несправностей в міру їх виникнення, тобто за потребою. У чистому вигляді стратегія відновлення працездатності без проведення діагностичних операцій неможлива через дуже високу вартість компонентів і наявності вбудованої системи самодіагностики, тобто ця стратегія містить, як виконавчу, так і контрольну частину операцій. Питомі витрати при цьому визначаються відношенням витрат на ремонт до середньої напрацювання на відмову [21]:

$$Z_1 = \frac{C_p}{\bar{l}} = C_p / \int_{l_{min}}^{l_{max}} l f(l) dl, \quad (2.1)$$

де  $C_p$  - витрати на ремонт (відновлення працездатності);

$\bar{l}$ ,  $l_{min}$ ,  $l_{max}$  - середнє, мінімальне і максимальне напрацювання на відмову відповідно.

2. Стратегія, яка передбачає попередження відмов і несправностей, а також відновлення вихідного або близького до нього стану, до того, як буде досягнуто граничний стан за напрацюванням. При цьому середнє напрацювання, з якого будуть усуватися відмови визначається за наступним виразом [21]:

$$l'_p = \int_{l_{min}}^{l_{max}} l f(l) dl / \int_{l_{min}}^{l_p} l f(l) dl, \quad (2.2)$$

де  $l_p$  - періодичність проведення профілактичних впливів.

Решта робіт проводяться з періодичністю  $l_p$ .

При цій стратегії питомі витрати визначаються як відношення середньозваженої вартості однієї операції до середньозваженого напрацювання [21]:

$$З_{II} = \frac{C_p F + dR}{l_p R + l'_p F}, \quad (2.3)$$

де  $F$  - ймовірність виникнення відмови;

$R$  - ймовірність безвідмовної роботи ( $R=1-F$ );

$d$  - вартість виконання попереджувальних (в тому числі обов'язкових робіт).

3. Стратегія, яка передбачає попередження відмов і несправностей, а також відновлення вихідного або близького до нього стану, до того, як буде досягнуто граничний стан за найважливішим параметром технічного стану.

Питомі витрати при цій стратегії визначаються [21]:

$$З_{III} = \frac{C_p F + d_b R_1 + d_k R}{l_p R + l'_p F} = \frac{C_p F / R + d_{II}}{l_p R + l'_p F}, \quad (2.4)$$

де  $d_n = d_k + k d_b$  - сумарна вартість робіт з урахуванням попереднього контролю;

$d_k$  - вартість контрольної частини робіт;

$d_b$  - вартість виконавчої частини робіт;

$k$  – коефіцієнт повторюваності, що визначає частку виробів, які зажадають поряд з контролем і усунення виниклих відхилень параметрів технічного стану від номінальних значень.

Кожна відмова автомобіля з системою живлення CR прийнято оцінювати в грошовому вираженні сумою витрат і втрат за допомогою наступного виразу [27]:

$$C_p = C_{зч} + (C_ч + C_п) \cdot T_{пр}, \quad (2.5)$$

де  $C_{зч}$  - вартість нової (відремонтованої) деталі (вузла, агрегату), грн;

$C_ч$  - годинна тарифна ставка ремонтного робітника (або вартість нормогодини для спеціалізованих підприємств технічного сервісу), грн;

$T_{пр}$  - час простою транспортного засобу при пошуку, виявленні причин і усунення наслідків відмови, год.;

$C_п$  - втрати за 1 годину простою транспортного засобу, грн.

Під час експлуатації автомобілів відмови деталей (вузлів, агрегатів) виникають неодноразово, при цьому втрати  $Z_i$  зростають кратно числу відмов [27]:

$$Z_i = M\{h_{vi}\} \cdot [C_{зч} + (C_ч + C_п) \cdot T_{пр}], \quad (2.6)$$

де  $M\{h_{vi}\}$  - математичне очікування числа відновлень елемента (вузла, агрегату) за термін служби автомобіля з системою живлення CR.

При відмові  $n$  різних деталей (вузлів, агрегатів) системи живлення CR автомобілів, втрати підсумовуються [27]:

$$Z = \sum^{n_i} Z_i = \sum^{n_i} M\{h_{vi}\} \cdot [C_{зч} + (C_ч + C_п) \cdot T_{пр}]. \quad (2.7)$$

Таким чином, найбільш ефективною стратегією буде та, при якій питомі витрати на експлуатацію транспортного засобу з системою живлення Common Rail будуть найменшими [21]:

$$Z_y = \frac{1}{l} \sum_i^n Z_i = \frac{1}{l} \sum_i^n M\{h_{vi}\} [C_{зч} + (C_ч + C_п) T_{пр}] \rightarrow \min, \quad (2.8)$$

де  $l$  - пробіг автомобіля;

$Z_i$  - витрати на виконання  $i$ -ої операції;

$n$  - кількість складових витрати.

Система живлення Common Rail є складовою частиною електронної системи управління двигуном і представлена у вигляді сукупності гідравлічних і електрогідравлічних елементів, керованих в режимі замкнутої зворотного зв'язку від блоку керування двигуном. Таким чином, вона містить два контури - гідравлічний і керуючий.

Гідравлічний контур низького тиску містить паливний бак, фільтр грубої очистки (при його наявності), паливопідкачуючий насос, фільтр тонкого очищення, редуктор тиску, електромагнітний дозуючий пристрій (клапан-регулятор потоку).

Вхідними параметрами (а також початковими умовами) служать параметри середовища і палива: температура навколишнього повітря, атмосферний тиск, вологість, запиленість, температура і густина палива, його динамічна в'язкість, вміст механічних домішок, рівень палива в баку, а також обсяг палива, що повертається на зливання. Вхідними параметрами для паливопідкачуючого насоса низького тиску (ПННТ) є частота обертання приводного вала (або електричні параметри у вигляді струму і напруги при наявності електроприводу), а також тиск палива на вході, який змінюється від рівня палива в баку і опору фільтра грубої очистки. Для регулювання тиску на виході ПННТ передбачений редукційний клапан. У автомобілів категорій N1, N2, N3, M2, M3 в переважній більшості застосовується схема подачі палива, при якій фільтр тонкого очищення знаходиться під впливом тиску з боку ПННТ і має власний гідравлічний опір. Також для розглянутих категорій T3 застосовується схема з регулюванням високого тиску на лінії впуску в ПНВТ (регулюванням потоку). Виконавчим елементом в даному випадку служить спеціальний клапан, прохідний перетин якого змінюється за допомогою соленоїда, що одержує командний імпульс у вигляді широтноімпульсного модульованого сигналу (ШІМ). Таким чином, на вхід даного елемента (дозуючого пристрою) підсистеми надходить тиск палива (має певну температуру, в'язкість і густину), керуючий сигнал ШІМ, а на виході – обсяг палива, що проходить в одиницю часу (витрата).

Контур високого тиску системи CR, задачею якого є створення і підтримання необхідного тиску і необхідної витрати, містить: паливний насос високого тиску,



паливний акумулятор високого тиску і електрогідравлічні форсунки, число яких дорівнює числу циліндрів дизеля. Завдяки наявності акумулятора тиску система живлення Common Rail і отримала свою назву (Common Rail з англ. загальна магістраль).

Параметри технічного стану системи живлення CR являють собою сукупністю  $P_i \in U(P_1, P_2 \dots P_n)$ . Так, наприклад, електрогідравлічна форсунка характеризується певним набором структурних (що не підлягають регулюванню, наприклад, знос запірної сідла клапана) і регульованих параметрів (хід якоря електромагніту, магнітний (повітряний) зазор, сила затягування пружини і ін.), які безпосередньо впливають на процес подачі палива в циліндр, а значить, і на вихідні параметри ДВЗ та автомобіля в цілому.

## 2.2 Узагальнена математична модель системи живлення Common Rail

Основне завдання системи живлення CR і ЕСКД в її складі – подати необхідну кількість палива в циліндри двигуна в потрібний момент. Зазначена мета в системах із акумулятором високого тиску досягається дотриманням ряду необхідних умов. По-перше, наявністю необхідного для упорскування тиску, по-друге поточним швидкісним, навантажувальним і тепловим режимом ДВЗ.

Технічний стан електрогідравлічних форсунок відповідає номінальному і допустимому значенням, якщо фактична циклова подача  $g_{ц}^{факт}$  для даного швидкісного і навантажувального режиму укладається в допустиму межу у всьому діапазоні роботи, а величина витоків в зворотну магістраль не перевищує допустиму. При цьому для всіх електрогідравлічних форсунок коефіцієнт нерівномірності подач прагне до мінімуму, так само як і помилка регулювання тиску в системі CR. З урахуванням викладеного, запишемо цільову функцію системи живлення Common Rail:

$$\left\{ \begin{array}{l} g_{\text{ц}}^{\text{факт}} = f(\omega_e, M_e^{\text{факт}}) \in [g_{\text{ц}}^{\text{min}}, g_{\text{ц}}^{\text{max}}] \\ Q_{\text{обр}}^{\text{факт}} \leq Q_{\text{обр}}^{\text{доп}} \\ \delta_g = \frac{g_{\text{ц}}^{\text{max}} - g_{\text{ц}}^{\text{min}}}{\bar{g}_{\text{ц}}} \rightarrow \min \\ p_{\text{CR}} = p_3(\omega_e, M_e^{\text{факт}}) \pm \Delta p \end{array} \right. , \quad (2.9)$$

де  $\omega_e, M_e^{\text{факт}}$  – відповідно поточна кутова швидкість і крутний момент;

$[g_{\text{ц}}^{\text{min}}, g_{\text{ц}}^{\text{max}}]$ - діапазон допустимих значень циклової подачі між мінімально допустимим і максимально допустимим значенням, (мг / цикл);

$Q_{\text{обр}}^{\text{факт}}, Q_{\text{обр}}^{\text{доп}}$ - відповідно фактична і допустима величина витоків в зворотну магістраль, мм<sup>3</sup> / хв;

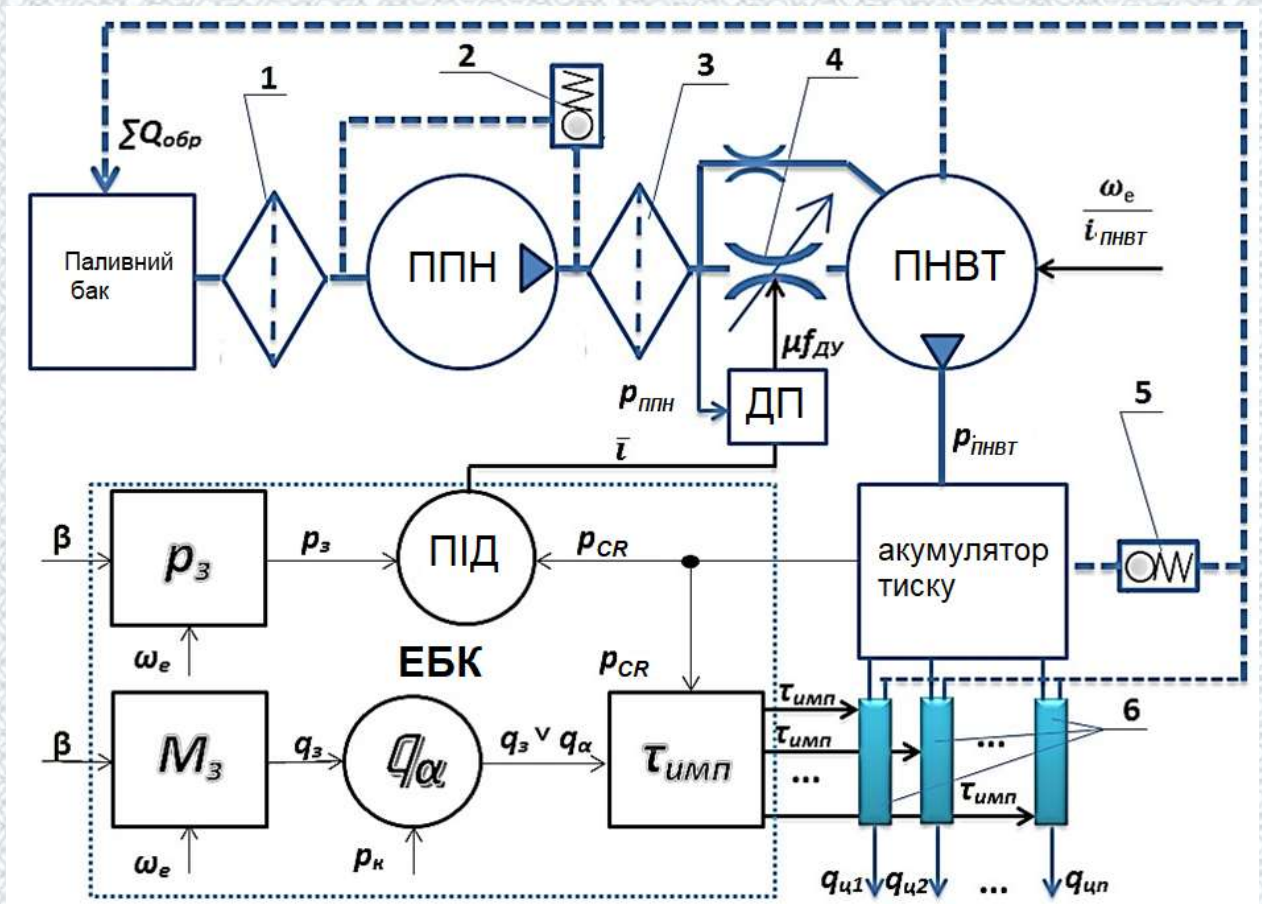
$\bar{g}_{\text{ц}}$ - середня циклова подача в циліндр, мг / цикл;

$\delta_g$ - коефіцієнт нерівномірності циклової подачі;

$p_{\text{CR}}, p_3, \Delta p$  - відповідно фактичний, заданий тиск в системі CR і помилка регулювання тиску палива в акумуляторі тиску.

Математичний опис процесу функціонування підсистеми АТПС в складі автомобіля доцільно проводити з урахуванням логіки роботи ЕБК, тому вони об'єднані в єдине ціле (рис 2.1).

Інформація від водія у вигляді заданого положення педалі керування подачею палива  $\beta$  надходить в масиви формування тиску і заданого крутного моменту (ЕБК). Від двигуна входом в дані масиви служать поточна кутова швидкість колінчастого вала  $\omega_e$  і тиск наддуву на виході з турбокомпресора  $p_k$ . Останній є сигналом, що лімітує поточну циклову подачу, виходячи з вимог щодо обмеження димності. ЕБК вибирає мінімальне значення серед заданої подачі і максимально можливої при даному тиску наддуву. Виходом роботи системи живлення є циклова подача. Вона залежить в першу чергу від поточного тиску в акумуляторі тиску  $p_{\text{CR}}$ , і вже на підставі інформації про тиск палива, ЕБК формує керуючий імпульс  $\tau_{\text{имп}}$  відповідної тривалості.



ППН - паливопідкачуючий насос; ПНВТ - паливний насос високого тиску; ПІД - пропорційний інтегральний диференціальний регулятор; ДП - дозуючий пристрій;

1 - фільтр грубого очищення; 2 - редукційний клапан; 3 - фільтр тонкого очищення; 4 - прохідний перетин дозуючого пристрою; 5 - запобіжний клапан; 6 - електрогідравлічні форсунки

Рисунок 2.1 - Розрахункова схема функціонування системи живлення Common Rail

Паливо знаходиться в баку з початковими параметрами: температурою  $T_m$ , густиною  $\rho_m$ , в'язкістю  $\nu_m$  і рівнем  $h_m$  і подається паливопідкачуючим насосом низького тиску через фільтри грубого (в разі наявності) та тонкого очищення, кожен з яких можна охарактеризувати, як місцевий опір. Тиск підкачки регулюється за допомогою редукційного клапана 2, при цьому надлишки повертаються на впуск. Частина палива використовується для змащення ПНВТ (для випадків змазування його паливом), а основна частина під тиском  $p_{ПНН}$  надходить до дозуючому пристрою ДП із змінним прохідним перетином 4.

Підтримка заданого надлишкового тиску потрібна для наповнення надплунжерного простору. ПНВТ безперервно подає паливо в паливну рампу. Для кожної робочої точки витрата палива, що подається в паливний насос високого тиску, дорівнює сумі витрат палива, що впорскується, витоків і витрати, необхідної для управління форсунками:

$$Q_{\text{ППН}} > Q_{\text{ПНВТ}} > \sum_{i=1}^Z Q_{\text{цил}} + \sum_{i=1}^Z Q_{\text{обр}}, \quad (2.10)$$

де  $Q_{\text{ППН}}$  і  $Q_{\text{ПНВТ}}$  - відповідно подача паливопідкачуючого насоса і паливного насоса високого тиску, л / хв;

$\sum_{i=1}^Z Q_{\text{цил}}, \sum_{i=1}^Z Q_{\text{обр}}$  - відповідно сумарні витрати палива циліндрами і на управління форсунками, л / хв.

Розглянемо спрощене уявлення системи управління стосовно до системи CR (опущені алгоритми формування пускової подачі, регулювання холостого ходу, круїз-контролю). Передумовою для формування керуючих впливів з боку ЕСКД базується на інформації про необхідний режим роботи автомобіля, який задається оператором (водієм автотранспортного засобу) за допомогою педалі керування подачею палива.

Необхідний для даних умов руху крутний момент  $M_3$  визначимо з урахуванням ступеня натискання управління подачею палива  $\beta$ :

$$M_3 = f(\beta, \omega_e) \quad (2.11)$$

Для лінеаризації наведеної функціональної залежності можна застосувати принцип суперпозиції, згідно з яким різні дії на двигун розглядаються незалежно один від одного, а результати цих впливів підсумовуються [12]. Розклавши залежність  $M_3 = f(\beta, \omega_e)$  в ряд Тейлора і відкинувши складові, що містять малі величини, отримаємо:

$$M_3 = M_{e0} + \frac{\partial M_e}{\partial \beta} \Delta \beta + M_{e0} + \frac{\partial M_e}{\partial \omega_e} \Delta \omega_e. \quad (2.12)$$

Відповідно ефективний крутний момент залежить від циклової подачі [34]:

$$M_{ei} = \frac{z H_u g_{ци} \eta_e}{4\pi}, \quad (2.13)$$

де  $\eta_e$  - ефективний ККД;

$z$  - число циліндрів двигуна;

$H_u$  - нижча теплотворна здатність палива, МДж / кг;

$g_{ци}$  - циклова подача палива на  $i$ -му кроці рахунку, мг.

Визначимо необхідну для даного режиму циклову подачу, перетворивши вираз (2.13):

$$g_3 = \frac{4\pi M_3}{z H_u \eta_e} = B \frac{M_3}{\eta_e}, \quad (2.14)$$

де  $B = \frac{4\pi}{z H_u}$  - постійна величина, яка не залежить від режиму роботи ДВЗ.

З урахуванням рівняння стану газу (з допущенням застосування рівнянь стану ідеального газу для повітря), знайдемо необхідну циклову подачу палива з умов запобігання димності [26]:

$$g_\alpha = \frac{V_h p_k \eta_V}{\alpha_{min} l_0 R_B T_k} = A \frac{p_k \eta_V}{\alpha_{min} T_k}, \quad (2.15)$$

де  $p_k$  і  $T_k$  - відповідно тиск і температура повітря на виході з компресора, Па;

$\alpha_{min}$  - мінімально допустимий коефіцієнт надлишку повітря по димності (задається заздалегідь для кожного режиму ДВЗ);

$R_B$  - універсальна газова стала для повітря, Дж / (кг К);

$A = \frac{V_h}{l_0 R_B}$  - стала, яка не залежить від режиму роботи двигуна;

$V_h$  - робочий об'єм циліндра, м<sup>3</sup>;

$\eta_V$  - коефіцієнт наповнення;

$l_0$  - стехіометричний коефіцієнт, кг пов. / кг палив.

Таким чином, циклова подача палива визначена блоком керування двигуном (вираз (2.14)) порівнюється з іншою величиною – максимально можливою подачею  $g_\alpha$ , отриманої з урахуванням циклового наповнення повітрям. У разі, якщо задана подача за умовами руху не перевищує максимально можливу по димності – вона і використовується в подальших розрахунках, в іншому випадку в якості розрахункової приймається порція палива, обмежена за умовами димності.

Для визначення командного імпульсу блоку управління двигуна необхідна інформація також про поточний тиск в акумуляторі, що надходить з датчика тиску.

У підсумку, на вхід електрогідравлічної форсунки надходить командний вплив з боку електронного блоку управління у вигляді тривалості  $\tau_{imp}$  і кількості керуючих імпульсів, що прямують в певні моменти по відношенню до положення колінчастого вала:

$$\tau_{imp} = f(g_3 \vee g_\alpha, p_{CR}). \quad (2.16)$$

Застосувавши принцип суперпозиції і розклавши функцію в ряд Тейлора, отримаємо вираз для знаходження заданого тиску в акумуляторі тиску:

$$p_3 = f(\beta, \omega_e) = p_0 + \frac{\partial p_3}{\partial \beta} \Delta\beta + M_{e0} + \frac{\partial p_3}{\partial \omega_e} \Delta\omega_e. \quad (2.17)$$

Дані про необхідний тиск палива при поточному швидкісному і навантажувальному режимах порівнюються з поточним тиском в паливній рампі і, на підставі пропорційного, інтегрального і диференціального регулювання (ПІД-регулювання), змінюється керуючий сигнал на пристрої, дозуючи потік на вході ПНВТ, до збігу заданого тиску з розрахунковим. У системах управління CR

найбільш часто поширене пропорційно-інтегральне регулювання (ПІ-регулювання), тому що забезпечує одночасно і задану точність, і швидкість відгуку.

У системах управління CR заданий вплив з боку ЕСКД визначимо [39]:

$$\tau_i = \tau_{i-1} + K_p \cdot (p_{CRi-1} - p_{CRi}) + K_i \cdot (p_3 - p_{CRi}), \quad (2.18)$$

де  $\tau_i, \tau_{i-1}$  - задана скважність сигналу широтно-імпульсної модуляції на кроках  $i$  і  $i-1$  відповідно;

$p_{CRi}, p_{CRi-1}$  - тиск в акумуляторі тиску на кроці  $i$  і  $i-1$  відповідно;

$p_3$  - заданий тиск в акумуляторі;

$K_p$  - пропорційний коефіцієнт;

$K_i$  - інтегральний коефіцієнт.

Дані масиву про необхідний тиск палива при поточному швидкісному і навантажувальному режимі порівнюються з поточним тиском в акумуляторі тиску  $i$ , на підставі заданого закону регулювання, видається керуючий сигнал на пристрій, що дозує потік на вході ПНВТ до його збігу з розрахунковим.

Узагальнену модель будь-якого елемента паливної апаратури дизеля представимо у вигляді обсягів (в загальному випадку змінних), з'єднаних один з одним за допомогою каналів з певними прохідними перетинами (також змінними). При цьому зміна тиску в будь-якому обсязі визначається з умови нерозривності потоку за формулою [12]:

$$\alpha V_i \frac{dp_i}{dt} = \sum Q_i + \frac{dV_i}{dt}, \quad (2.19)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт стискання рідини,  $1 / \text{Па}$ ;

$V_i$  - обсяг,  $\text{м}^3$ ;

$p_i$  - тиск,  $\text{МПа}$ ;

$Q_i$  - витрата рідини,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$i$  - число каналів, що з'єднують розглянутий обсяг з іншими елементами системи подачі палива.

Коефіцієнт стискання палива значним чином змінюється при тисках вище 100 МПа, в зв'язку з чим, приймаємо його розрахункове значення за такою залежністю [11.12]:

$$\alpha = 8.026 \cdot 10^9 + 10.779 \cdot p_i + 9 \cdot 10^{-11} \cdot p_i^2, \quad (2.20)$$

де  $p_i$  - тиск палива в  $i$ -ій порожнині.

Рівняння зміни тиску в паливному акумуляторі високого тиску складемо на основі рівняння нерозривності потоку і об'ємного балансу системи:

$$\frac{dp_{CR}}{dt} = \frac{1}{\alpha V_{CR}} (Q_{ПНВТ} - Q_{\phi} - Q_{обр}), \quad (2.21)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт стисканості палива, 1 / МПа;

$V_{CR}$  – об'єм акумулятора високого тиску, м<sup>3</sup>;

$Q_{ПНВТ}$  - подача палива від паливного насоса високого тиску, м<sup>3</sup> / с;

$Q_{\phi}$ - витрата палива двигуном, м<sup>3</sup> / с;

$Q_{обр}$  - витрата палива на зворотне управління і витіки в системі, м<sup>3</sup> / с.

Оскільки в більшості розглянутих автомобілів для регулювання тиску палива в акумуляторі використовується дроселювання на впуску, то як допущення будемо вважати, що потік палива, що проходить через дозуючий пристрій (регулятор тиску) буде теоретичною витратою через ПНВТ. В реальності подача ПНВТ буде нижче, і ця обставина можна врахувати за допомогою коефіцієнта об'ємної подачі насоса, тобто [8]:

$$Q_{ПНВТ} = Q_{ДП} \cdot \eta_{ПНВТ}, \quad (2.22)$$

де  $Q_{ДП}$  - витрата палива через дозуючий пристрій, м<sup>3</sup> / с

$\eta_{ПНВТ}$  - коефіцієнт об'ємної подачі ПНВТ.



Витрату палива через ПНВТ можна визначити також, знаючи його характеристики, зокрема подачу за один оберт [8]:

$$Q_{\text{ПНВТ}} = \frac{V_{\text{ПНВТ}} n_{\text{ПНВТ}} \eta_{\text{ПНВТ}}}{60} = \frac{V_{\text{ПНВТ}} \omega_{ei} \eta_{\text{ПНВТ}}}{2\pi i_{\text{ПНВТ}}}, \quad (2.23)$$

де  $V_{\text{ПНВТ}}$  - подача палива ПНВТ за один оберт, мм<sup>3</sup>;

$n_{\text{ПНВТ}}$  - частота обертання валу приводу ПНВТ, хв<sup>-1</sup>;

$\omega_{ei}$  - поточна кутова швидкість колінчастого вала двигуна, с<sup>-1</sup>;

$i_{\text{ПНВТ}}$  - передавальне число пари ПНВТ-двигун.

Виходячи з умови нерозривності потоку, витрата палива через дозуючий пристрій (клапан-регулятор потоку) знайдемо за такою формулою [12]:

$$Q_{\text{ДП}} = \mu f_{\text{ДП}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho(T_{\tau})}}, \quad (2.24)$$

де  $\mu f_{\text{ДП}}$  - ефективний прохідний перетин дозуючого пристрою, м<sup>2</sup>;

$\Delta p$  - різниця тисків на дозуючому пристрої, Па;

$\rho(T_{\tau})$  - функція щільності палива від його температури  $T_{\tau}$  (К), кг/м<sup>3</sup>.

Сам по собі дозуючий пристрій являє собою електромагнітний пропорційний клапан, перетин якого змінюється в залежності від середнього значення сили струму що протікає в електромагніті.

Ефективний прохідний перетин регулятора тиску, в свою чергу, залежить від переміщення дозуючого золотника. Величина витрати палива через дозуючий пристрій може бути задана заздалегідь у вигляді залежності витрати палива від середнього значення керуючого струму  $Q_{\text{ДП}} = f(i)$ , або на основі математичного опису переміщення золотника, що регулює потік палива.

Вважаючи потік палива одновимірним, визначимо, на основі нерозривності потоку, тиск на вході в дозуючий пристрій:

$$\frac{dp_{\text{ППН}}}{dt} = \frac{1}{\alpha V} (Q_{\text{ППВ}} - Q_{\text{кл}} - Q_{\text{ДП}} - Q_{\text{СМ}}), \quad (2.25)$$

де  $Q_{\text{ППН}}$  - витрата палива шестерінчастим паливопідкачувальним насосом,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$Q_{\text{кл}}$  - витрата палива через зливний перетин редукційного клапана,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$Q_{\text{СМ}}$  - витрата палива на мащення ПНВТ,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$Q_{\text{ДП}}$  - витрата палива через дозуючий пристрій ПНВТ,  $\text{м}^3 / \text{с}$ .

Витрата шестеренного насоса з зовнішнім зачепленням знайдемо за [12]:

$$Q_{\text{ППН}} = 10^{-6} \cdot \eta_{\text{ППН}} \cdot \pi \cdot b \cdot d \cdot h \cdot n_{\text{н}} = V_{\text{м}} \cdot n_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ППН}}, \quad (2.26)$$

де  $\eta_{\text{ППН}}$  - коефіцієнт подачі;

$b$  і  $h$  - ширина і висота зуба, м;

$n_{\text{н}}$  - частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$d$  - діаметр ділительного кола, м;

$V_{\text{м}}$  - подача насоса за один оберт,  $\text{м}^3$ .

Витрата палива через зливний перетин клапана знайдеться по відомій залежності [12]:

$$Q_{\text{кл}} = \mu f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{\text{ППН}} - p_{\text{ВХ}})}, \quad (2.27)$$

де  $p_{\text{ВХ}}$  - тиск на вході в насос низького тиску, Па.

### 2.3 Обґрунтування методів діагностики системи живлення Common Rail

Діагностування технічного стану системи живлення Common Rail в цілому і окремих її елементів без зняття їх з автомобіля повинно бути забезпечено з урахуванням внутрішньосистемних зв'язків. Само по собі діагностування може

бути здійснено в тестовому або функціональному вигляді. При цьому для скорочення факторів, що впливають на результат діагнозу краще використовувати тестові режими, а контроль технічного стану проводити із здійсненням робочого процесу в усіх циліндрах двигуна, з відсутністю робочого процесу і в комбінованому вигляді (наприклад, при відключенні циліндрів дизельного двигуна).

Оскільки сполучною ланкою між системою живлення CR і двигуном є ЕСКД, то і контрольовані при цьому діагностичні параметри можна розбити на три групи: параметри кутової швидкості в тестових режимах (як сталих, так і несталих), електричні (в тому числі керуючі параметри) і гідравлічні параметри. Кожен діагностичний прилад, як правило, не має однозначного функціонального зв'язку тільки з будь-яким окремим конкретним компонентом системи живлення CR, крім того, складність поелементного діагностування цих систем обумовлено конструктивною особливістю, а саме – паливною рампою. У разі наявності, наприклад, витoku в будь-якому місці системи подачі палива, відбувається загальне зниження магістрального тиску, а ідентифікація місця витoku виявляється складною.

Діагностування системи CR при відсутності робочого процесу здійснюється в режимі прокручування стартером. При цьому, крім загального технічного стану системи живлення можлива оцінка і загального технічного стану дизельного двигуна, наприклад, рівномірність розподілу компресії по циліндрах, а також стан АКБ, стартера і передпускового підігріву.

Для підвищення інформативності виявлення місця витoku тиску палива пропонується використовувати динаміку наростання та падіння тиску в паливному акумуляторі високого тиску в режимі пуску і зупинки дизеля (або стартерного прокручування без подачі палива). При цьому дизельний двигун запускається від стартера, потім деякий час працює на холостому ході, після чого вимикається запалювання, і дизель глухне. У разі блокування подачі, або її відсутності динаміка зміни тиску палива аналізується в режимі примусового прокручування стартером, при якому дозуючий пристрій ПНВТ повністю відкрито. Метод придатний для

акумуляторних систем з регулюванням подачі з боку низького тиску (контролем потоку на впуску), які набули поширення переважно на автомобілях комерційного призначення. Важливим моментом є те, що при даному способі може бути застосовано, як дилерське, так і універсальне діагностичне обладнання (осцилограф, автомобільний сканер, мультиметр).

Для теоретичного обґрунтування застосовності в якості діагностичного параметра зміни тиску в паливному акумуляторі високого тиску, перепишемо рівняння (2.21) в наступному вигляді:

$$\frac{dp_{CR}}{dt} = \frac{1}{\alpha V_{CR}} (Q_{ПНВТ} - Q_{УТ}), \quad (2.28)$$

де  $Q_{УТ}$  - витрата палива на зворотне управління і витіки в системі,  $\text{м}^3 / \text{с}$ .

Витрата палива через паливний насос високого тиску визначалися за виразами (2.22 або 2.23).

У виразі (2.28) є дві невідомі –  $Q_{ПНВТ}$  і  $Q_{УТ}$ . Припустивши, що при падінні тиску доданок  $Q_{ПНВТ}$  прямує до нуля, а величина  $Q_{УТ}$  постійна для даного технічного стану, отримаємо:

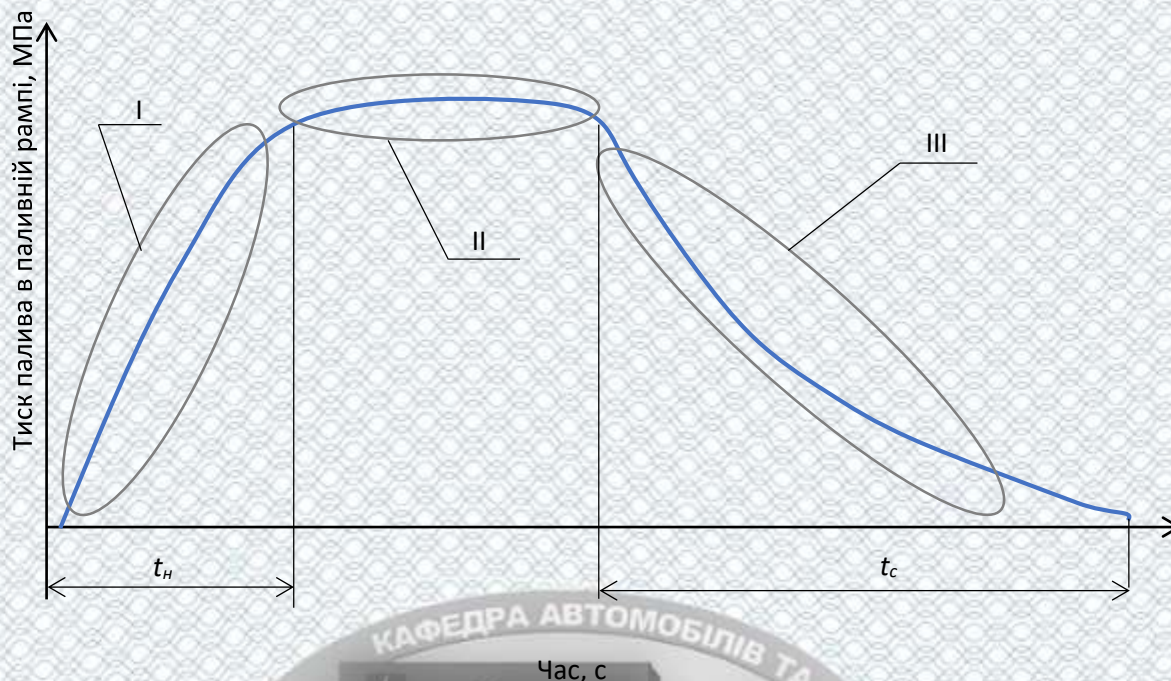
$$Q_{УТ} = \mu f_{\Sigma} \sqrt{\frac{2(p_{CR} - p_0)}{\rho_T}}, \quad (2.29)$$

де  $\mu f_{\Sigma}$  – сумарна площа витоків з урахуванням коефіцієнта витрати,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_T$  - густина палива,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$p_0$  - тиск у паливній зливній магістралі (для розрахунків приймалося рівним атмосферному).

В якості вихідних умов тиск в акумуляторі високого тиску приймається рівним атмосферному для режиму пуску, рівним тиску палива на холостому ході або максимально досягнутому в стартерному режимі без подачі палива (для ділянки III), рис. 2.2.



I - область наростання тиску; II - область утримання тиску (при стартерному прокручуванні або на сталому режимі, наприклад, холостому ходу); III - падіння тиску;  $t_n$  - час наростання тиску;  $t_c$  - час падіння тиску

Рисунок 2.2 - Процес зміни тиску палива в паливному акумуляторі високого тиску при діагностиці в тестовому режимі

З урахуванням зроблених припущень, аналіз динаміки тиску палива в акумуляторі палива в пусковому режимі доцільно починати з ділянки падіння тиску (III, рис. 2.2), де за виразом (2.28) визначаємо величину сумарної площі витоків з урахуванням коефіцієнта витрати:

$$\frac{dp_{CR}}{dt} = \frac{1}{\alpha V_{CR}} \mu f_{\Sigma} \sqrt{\frac{2(p_{CR} - p_0)}{\rho_T}} \quad (2.30)$$

Діагностичними параметрами, які характеризують технічний стан ПНВТ будуть подача палива при заданому тиску в магістралі і максимальний тиск, що розвивається при прийнятій (розрахованій) величині сумарних нещільності  $\mu f_{\Sigma}$ . Для знаходження подачі палива ПНВТ  $Q_{\text{ПНВТ}}$  використаємо праву частину рівняння (2.23).

У виразі (2.23) теоретична подача палива за один оборот  $V_{\text{ПНВТ}}$  характеризує геометричні характеристики ПНВТ, в той час як величина  $\eta_{\text{ПНВТ}}$  (коефіцієнт запасу об'ємної подачі) буде змінюватися в залежності від технічного стану ПНВТ. У найбільш простій формі можна вважати, що її можна визначити, як відношення фактичної подачі палива з протитиском в системі ( $p_{\text{CR}}$ ) до подачі палива без протитиску (або зі слабким протиском).

$$\eta_{\text{ПНВТ}} = \frac{V_{\text{ПНВТ}}^{p=p_{\text{ПНВТ}}}}{V_{\text{ПНВТ}}} \quad (2.31)$$

У той же час, темп наростання тиску палива буде залежати від пускової частоти обертання колінчастого вала дизеля. Її можна визначити за допомогою моделювання пускового режиму дизельного двигуна. У свою чергу, результат перевірки в значній мірі залежить і від технічного стану стартера. При цьому спотворюються не тільки сигнали струму і напруги (а відповідно і електричної потужності), але і частоти обертання.

Якість робочого процесу двигуна в значній мірі визначається технічним станом його систем. Одним з найбільш поширених режимів діагностування є режим холостого ходу з мінімальною частотою обертання колінчастого вала. При цьому вся індикаторна потужність, що розвивається в циліндрах, витрачається тільки на подолання механічних втрат. Сам режим при цьому є досить стабільним для певних марок дизелів і базовим для проведення деяких діагностичних перевірок. Часто він використовується у випадках фіксації пропусків запалення системою самодіагностики або у вигляді явно вираженого симптому роботи.

Пошук непрацездатного циліндра, як правило, не представляє складнощів і може бути проведений, наприклад, з використанням широко застосовується методу відключення циліндрів в ручному або автоматизованому режимі, переглядом даних балансування циліндрів і т.д. Але при цьому причина, яка викликала погіршення показників роботи, часто слабо виявляється або не виявляється зовсім, в тому числі це стосується технічного стану системи CR, і зокрема електрогідравлічних

форсунок. У разі, коли має місце спільний прояв несправностей, виникає невизначеність технічного стану (рис. 2.3), що вимагає додаткових перевірок. Найчастіше у вигляді таких тестових режимів може бути заданий режим прокручування стартером. Завданням такого тесту є визначення рівномірності розподілу компресії по циліндрах, і, таким чином, вплив герметичності циліндрів на нерівномірність кутової швидкості нівелюється.

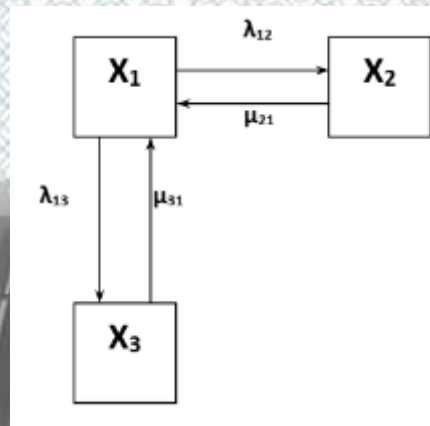


Рисунок 2.3 - Граф можливих станів циліндра дизельного двигуна

Невизначеність стану прийнято кількісно оцінювати ентропією. Дизельний ДВЗ представимо системою, що складається з  $z$  елементів (циліндрів), кожен з яких може перебувати в певному і невідомому до початку діагностування стані. Умовно вважаємо, що  $X_1$  відповідає стан «Справний»,  $X_2$  - «несправний і працездатний»,  $X_3$  - «несправний і непрацездатний». При цьому в перших двох випадках симптоми, що характеризують явне недопрацювання циліндрів відсутні або невиразні без застосування засобів технічного діагностування. В останньому варіанті ( $X_3$ ) циліндр дизеля розвиває низьку потужність.

Рівномірність роботи циліндрів дизеля на холостому ходу не завжди свідчить про їх справність, тому що, наприклад, невелике зниження потужності циліндра внаслідок зниження герметичності може бути компенсовано збільшеною подачею палива. Для усунення невизначеності технічного стану пропонується тестовий вплив – припинення робочого процесу в циліндрі що перевіряється. При цьому інтерес представляє не тільки якісний прояв реакції на тестовий вплив, а й кількісні

показники. В якості діагностичних параметрів доцільно використовувати внутрішні зміни швидкості і прискорення колінчастого вала.

Вважаючи для бесстендового навантаження зовнішній (навантажувальний) момент  $M_n = 0$ , запишемо рівняння динамічного режиму в загальному вигляді [30]:

$$I_e \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dI_e}{d\varphi} = z_p M_i - M_m, \quad (2.32)$$

де  $z_p$  - число працюючих циліндрів;

$I_e$  – приведений момент інерції рухомих частин кривошипно-шатунного механізму.

Нерівномірність крутного моменту в залежності від кута повороту колінчастого вала, а також конструктивні особливості кривошипношатунного механізму призводять до того, що миттєва кутова швидкість і прискорення колінчастого вала не є постійними, а змінюються за часом і кутом повороту колінчастого вала дизельного двигуна. Збільшення кутової швидкості відбувається внаслідок здійснення робочого циклу в циліндрі, а уповільнення – втратами на стиск, тертя, привід допоміжних механізмів [2,4].

Режими діагностування можуть бути задані циклічно і за певним алгоритмом, в тому числі за допомогою контролера ЕСКД. Контроль миттєвої кутової швидкості в характерних діапазонах кута повороту колінчастого вала при різних поєднаннях працюючих і виключених циліндрів сприятиме збільшенню кількості діагностичної інформації.

Відповідно до логіки роботи електрогідравлічних форсунок, не менш інформативним діагностичним параметром є витрата палива на управління, тому що вона дозволяє оцінити герметичність прецизійних сполучень. На багатьох легкових автомобілях даний вимір не представляє труднощів, для автомобілів ж комерційного сегмента індивідуальні виводи електрогідравлічних форсунок можливо контролювати за загальним витратами палива на управління.

Один із способів полягає у визначенні індивідуальних витоків по різниці сумарної витрати через загальну зворотну магістраль і витрат при виключенні



однієї з форсунок методом блокування подачі палива без розгерметизації лінії високого тиску безпосередньо на працюючому двигуні за допомогою пристрою для блокування подачі палива на форсунки.

Баланс витрат запишемо так:

$$Q_{\text{ППН}} = Q_{\text{ПНВТ}} + Q_{\text{ПНВТ}}^{\text{СМ}} + Q_{\text{рк}}, \quad (2.33)$$

де  $Q_{\text{ППН}}$  - подача палива паливоподкачувальним насосом;

$Q_{\text{ПНВТ}}$  - витрата палива, що проходить через ПНВТ;

$Q_{\text{ПНВТ}}^{\text{СМ}}$  - витрата палива на змазування ПНВТ паливом;

$Q_{\text{рк}}$  - витрата палива, що відводиться через редукційний клапан.

Витрата палива, що проходить через ПНВТ, складається з ряду складових, кожна з яких може служити діагностичним параметром:

$$Q_{\text{ПНВТ}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i + Q_{\text{рег}}, \quad (2.34)$$

де  $Q_1, Q_2 \dots Q_i$  - відповідно витрата палива через трубки високого тиску відповідно першого, другого і  $i$ -го циліндрів;

$Q_{\text{рег}}$  - витрата палива через регулятор тиску в рампі (в разі його установки).

У свою чергу, кожний з доданків  $Q_1, Q_2 \dots Q_i$  (крім  $Q_{\text{рег}}$ ) є сумою витрат на управління і циклову подачу, тобто

$$Q_i = q_{\text{ц}}^i + Q_{\text{обр}}^i, \quad (2.35)$$

де  $q_{\text{ц}}^i$  - циклова подача в  $i$ -му циліндрі;

$Q_{\text{обр}}^i$  - витрата палива на управління в  $i$ -му циліндрі.

Витрата палива через будь-яку трубку високого тиску визначиться як:

$$Q_i = \sum_{i=1}^z Q_i - \sum_{i=1}^{z-1} Q_i. \quad (2.36)$$

Момент настання відмови в системі CR, як правило, фіксується системою самодіагностики і настає, коли продуктивність ПНВТ наближається до витрати палива через лінію високого тиску. В цьому випадку відсутній запас подачі, потрібний для створення високого тиску на всіх режимах і необхідний ремонт.

Діагностична інформація, що отримується в процесі функціонування двигуна, повинна бути по можливості максимальною, що забезпечує мінімум простоїв автомобіля при визначенні технічного стану, пошуку несправностей і усунення причин їх появи. Кожен з режимів функціонування ДВЗ забезпечує ту чи іншу чутливість діагностичних параметрів до параметрів технічного стану елементів системи живлення CR і двигуна. При діагностуванні дизеля і системи живлення CR в залежності від необхідного обсягу діагностичної інформації можливе використання як окремого режиму, так і їх комбінації. Оскільки двигун оснащений ЕСКД і на його ефективність впливає технічний стан елементів ДВЗ, необхідно призначати методи діагностики, що дозволяють мінімізувати кількість факторів, що впливають на постановку діагнозу.

Зокрема, використання методу діагностики по пусковому струму, напрузі, потужності і нерівномірності обертання колінчастого вала, дозволяє виключати вплив на результати діагностування системи живлення CR, ЕСКД і турбокомпресора (перевірка якого здійснюється в ході дорожніх випробувань або на стенді тягових якостей).

Метод вимірювання прискорень колінчастого вала на холостому ходу, в тому числі при відключенні циліндрів, дозволяє виключати вплив системи пуску на результати діагнозу системи живлення CR, а також оцінювати рівномірність крутних моментів по циліндрах на холостому ходу і виявляти причини відхилень нерівномірності моментів від нормативу. Якщо до перерахованих режимів додати режим розгону і вибігу колінчастого вала, то додатково з'являється можливість оцінювати технічний стан та інших систем двигуна, зокрема системи живлення.

Виходячи з вищенаведеного, набір методів діагностики системи живлення Common Rail повинен забезпечувати перевірку відповідності фактичних подач палива заданим, їх рівномірність, а також продуктивність і герметичність системи.

Цим вимогам відповідають стендові методи діагностики. Серед безстендових методів рівномірність подач дозволяє контролювати динамічний метод, пов'язаний з розгоном колінчастого вала двигуна, тобто з вимірюванням його кутових прискорень, викликаних роботою циліндрів. Для визначення герметичності ліній високого тиску і запасу подачі можна виділити методи діагностики за загальними (індивідуальними) витратами в зворотній магістралі і по зміні тиску в паливній рампі при прокручуванні стартером (пуску і зупинці). Використання останніх двох методів дозволяє виключити вплив ЕСКД на результати діагностики.

## 2.4 Висновки

1. На основі системного підходу розглянуто функціонування системи «Акумуляторна система живлення Common Rail – Дизельний двигун внутрішнього згоряння – Автомобіль – Середовище, що дозволило сформувавши підхід до вибору оптимальної стратегії ТО і ремонту системи живлення Common Rail.

2. На основі вивчення робочих процесів в системі живлення Common Rail була сформована узагальнена математична модель, яка описує залежності формування циклової подачі через електрогідравлічні форсунки, а також рівняння, які описують витрати (подачу) ПНВТ, ППН, регулювальний пристрій, зворотну магістраль.

3. Враховуючи описані математичні залежності було обґрунтовано використання методів діагностування системи живлення Common Rail, а саме метод по пусковому струму (напрузі), метод вимірювання кутових прискорень при відключенні циліндрів, витрати палива з електрогідравлічних форсунок на зливну магістраль, вимірювання осцилограм тисків в системі та ін.

### 3 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ З ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL

#### 3.1 Визначення річних обсягів робіт

Загальний обсяг робіт СТО «Bosch дизель центр «Алекс Дизель» визначемо на основі прогнозування на основі відомих значень обсягів робіт за 2016-2018 роки (див. табл. 1.1). В якості прогнозовної функції застосуємо лінійну регресію –  $y = a_0 + a_1 t$ .

Коефіцієнти регресії  $a_0$  і  $a_1$  знаходяться за формулами:

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad (3.1)$$

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}. \quad (3.2)$$

Для розрахунку коефіцієнтів  $a_0$  і  $a_1$  заповнимо таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок коефіцієнтів лінійної регресії

Вихідні дані		Дані розрахунку			
$x_i$	$y_i$	$x_i y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$	
календарний рік	умовний рік				
2016	1	16820	1	282912400	
2017	2	16980	4	288320400	
2018	3	17550	9	308002500	
Сума	6	51350	14	879235300	
Середнє значення	2	17116,67	4,67	293078433,3	

На основі розрахунків отримана лінійна регресія  $y=16386,67+365t$ . За отриманим рівнянням регресії встановлюємо, що прогноз обсягів робіт складає 17847 люд.-год. Коефіцієнт кореляції 0,95, що означає високу достовірність прогнозних даних.

Відповідно до ОНТП [7,24,28] приблизний розподіл трудомісткості ТО і ПР автомобілів по роботах ремонту систем живлення складає 70% постових робіт і 30% дільничних. Таким чином:

$$T_{\text{пост}} = 0,7 \cdot T_{\Sigma} = 0,7 \cdot 17847 = 12493 \text{ люд.-год.}$$

$$T_{\text{дільн}} = 0,3 \cdot T_{\Sigma} = 0,3 \cdot 17847 = 5354 \text{ люд.-год.}$$

Режим роботи підприємства «Алекс Дизель»:

- кількість робочих днів на рік – 255;
- кількість змін роботи – одна (перша);
- тривалість зміни – 8 годин.

### 3.2 Розрахунок чисельності виробничого персоналу і кількості постів

Облікова чисельність виробничих робітників по ТО і ПР визначається відношенням річного обсягу робіт до ефективного річного фонду часу працюючих, явочна чисельність – те ж, відношенням до номінального річного фонду часу працюючих [7,24,28].

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

$$P_T = \frac{T_P}{\Phi_M}, \quad (3.3)$$

де  $T_P$  – річний обсяг робіт зони чи дільниці, людино-годин;

$\Phi_M$  – річний фонд часу робочого місця чи технологічно необхідного робітника,

год.

Штатна чисельність робітників забезпечує виконання річних обсягів робіт з ТО й ремонту рухомого складу:

$$P_{ш} = \frac{T_p}{\Phi_p}, \quad (3.4)$$

де  $\Phi_p$  – річний фонд часу ремонтного робітника, год.

Результати розрахунків необхідної кількості ремонтних робітників сервісного центру «Алекс Дизель» наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розподіл робітників за видами робіт

Роботи по системі живлення	Трудомісткість, люд.-год.	Чисельність робітників			
		розрахункова		прийнята	
		штатна	явочна	штатна	явочна
Постові	12493	6,86	6,04	7	6
Дільничні	5354	2,94	2,59	3	3
Разом	17847	9,8	8,63	10	9

Кількість виробничих постів ремзони визначається по формулі:

$$П = \frac{T_p \cdot \varphi}{D_{роб} \cdot C \cdot T_{зм} \cdot P \cdot \eta_{вик}}, \quad (3.5)$$

де  $T_p$  – річний обсяг постових робіт, люд.-год.;

$\varphi$  – коефіцієнт нерівномірності завантаження постів;

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

$C$  – число змін роботи на добу;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, год.;

$P$  – чисельність одночасно працюючих на одному посту, чел.;

$\eta_{вик}$  – коефіцієнт використання робочого часу поста.

При визначенні кількості постів за [7,28] приймаємо:

- коефіцієнт нерівномірності завантаження постів  $\varphi=1,15$ ;
- коефіцієнт використання робочого часу поста  $\eta_{вик}=0,95$ ;
- чисельність одночасно працюючих на одному пості – 2 чол..

$$П = \frac{12493 \cdot 1,15}{255 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 0,95} \approx 4 \text{ поста.}$$

В сервісному центрі «Алекс Дизель» використовується 3 робочих поста та один допоміжний для легкових автомобілів, 3 поста для вантажних автомобілів. Фактична кількість постів більша за розрахункові, проте це дозволяє краще використовувати робочий час робітників СТО при індивідуальному ремонті, який має велику трудомісткість. Тому приймаємо фактичну кількість постів.

Приймаємо всі пости універсальні.

### **3.3 Планування виробничих приміщень СТО «Алекс Дизель»**

#### **3.3.1 Дільничні роботи**

Дільничні роботи з ремонту паливної апаратури СТО «Алекс дизель» виконуються в трьох відокремлених приміщеннях. Ремонт паливної апаратури передбачає ремонт форсунок паливної апаратури різних типів, ПНВТ, насос-форсунок, паливопідкачувальних настоїв тощо. Технологічний процес ремонту паливної апаратури включає: стендове випробування вузлів, розбирання, миття знятих деталей, їх дефектування; комплектування деталей після ремонту із запасних агрегатів; зборку і випробування.

Контроль, сортування і комплектування деталей проводять за допомогою звичайного вимірювального інструменту і окремих спеціальних пристроїв розміщених на окремому столі.

Для виконання операцій по ремонту паливної апаратури на дільницях використовується спеціальне технологічне обладнання, перелік якого наведений в табл. 3.3

Таблиця 3.3 – Технологічне обладнання ремонтних дільниць

№ п/п	Найменування обладнання і оргтехоснастки	Кількість	Характеристика
1	2	4	3
1	Стенд перевірки ПНВТ Bosch EPS 815	1	Максимальна потужність 17,5 кВт 2260x1588x860 мм
2	Стенд перевірки ПНВТ BOSCH EPS 604	1	Максимальна потужність 5,5 кВт 1565x1010x1720 мм
3	Стенд перевірки і регулювання ПНВТ SPP 312	1	Максимальна потужність 4 кВт 1465x1230x920 мм
4	Стенд перевірки форсунок Hartridge Testmaster 3 HH701	1	Настільний, пневматичний, внутрішнє живлення 12В
5	Стенд перевірки форсунок InjecTester 2 digital	1	Настільний, потужність 1,5 кВт
6	Стенд перевірки форсунок Common Rail Bosch EPS 200	1	Настільний, потужність 1,5 кВт 600x606x800
7	Стенд промивки форсунок високим тиском	1	Максимальна потужність 4 кВт 565x780x1520 мм
6	Стіл для контролю і миття прецизійних деталей	1	1000x800
7	Ванна для миття деталей	1	450x500
8	Верстак для ремонту паливної апаратури	2	1600x800
9	Шафа для інструментів	3	1000x520

### 3.3.2 Постові роботи

Постові роботи по системі живлення виконуються в зоні ТО і ПР. Вони передбачають комп'ютерне діагностування ДВЗ і системи живлення, зняття і встановлення вузлів, роботи по ТО системи живлення, промивка системи живлення, супутні ремонтні роботи та ін. Для проведення всіх запланованих робіт



зона ТО і ПР оснащується спеціальним контрольно-вимірювальним, стендовим обладнанням і оргтехоснасткою.

Виконаємо уточнений розрахунок площі зони ТО і ПР. Площа зони ТО і ПР визначається за формулою:

$$F_3 = f_a X_3 K_{щ}, \quad (3.6)$$

де  $f_a$  – площа, яку займає автомобіль в плані (по габаритним розмірам), м<sup>2</sup>;

$X_3$  – число постів та автомобіле-місць очікування;

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

$$F_3 = 8,64 \cdot 4 \cdot 6 + 12 \cdot 3 \cdot 4 = 351,3 \text{ м}^2.$$

Фактична площа ділянки складає 425 м<sup>2</sup>. Фактична площа перевищує розрахункові більш ніж на 10%. Проте, враховуючи недоцільність перепланування, приймаємо фактичне приміщення.

Підбір обладнання зони виконано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Перелік технологічного обладнання зони ТО і ПР

№ п/п	Найменування обладнання і оргтехоснастки	Кількість	Характеристика
1	2	4	3
1	Системний сканер Bosch KTS 650	1	Переносний, універсальний
2	Дилерський сканер Star Diagnosis Compact 3	1	Переносний, для автомобілів Mercedes
3	Дилерський сканер Intelligent Tester II	1	Переносний, для автомобілів Toyota
4	Дилерський сканер PEUGEOT PLANET 2000	1	Переносний, для автомобілів Peugeot
5	Дилерський сканер KIA HI-SCAN PRO	1	Переносний, для автомобілів Kia, Hyundai

## Продовження таблиці 3.4

1	2	4	3
6	Дилерський сканер VAG-COM	1	Переносний, для автомобілів VAG
7	Дилерський сканер Renault CLIP	1	Переносний, для автомобілів Renault
8	Комп'ютерний діагностичний комплекс для Common Rail GrunBaum CR550	1	Переносний, багатофункціональний
9	Автомобільний мультиметр 2150B	1	Портативний
10	Візок інструментальний	6	600x600x1200
11	Шафа для приладів	2	800x520x1500
12	Верстак слюсарний з лещатами	3	1150x800x850
13	Бак для ветоші	3	500x500
14	Бак для сміття	1	500x600

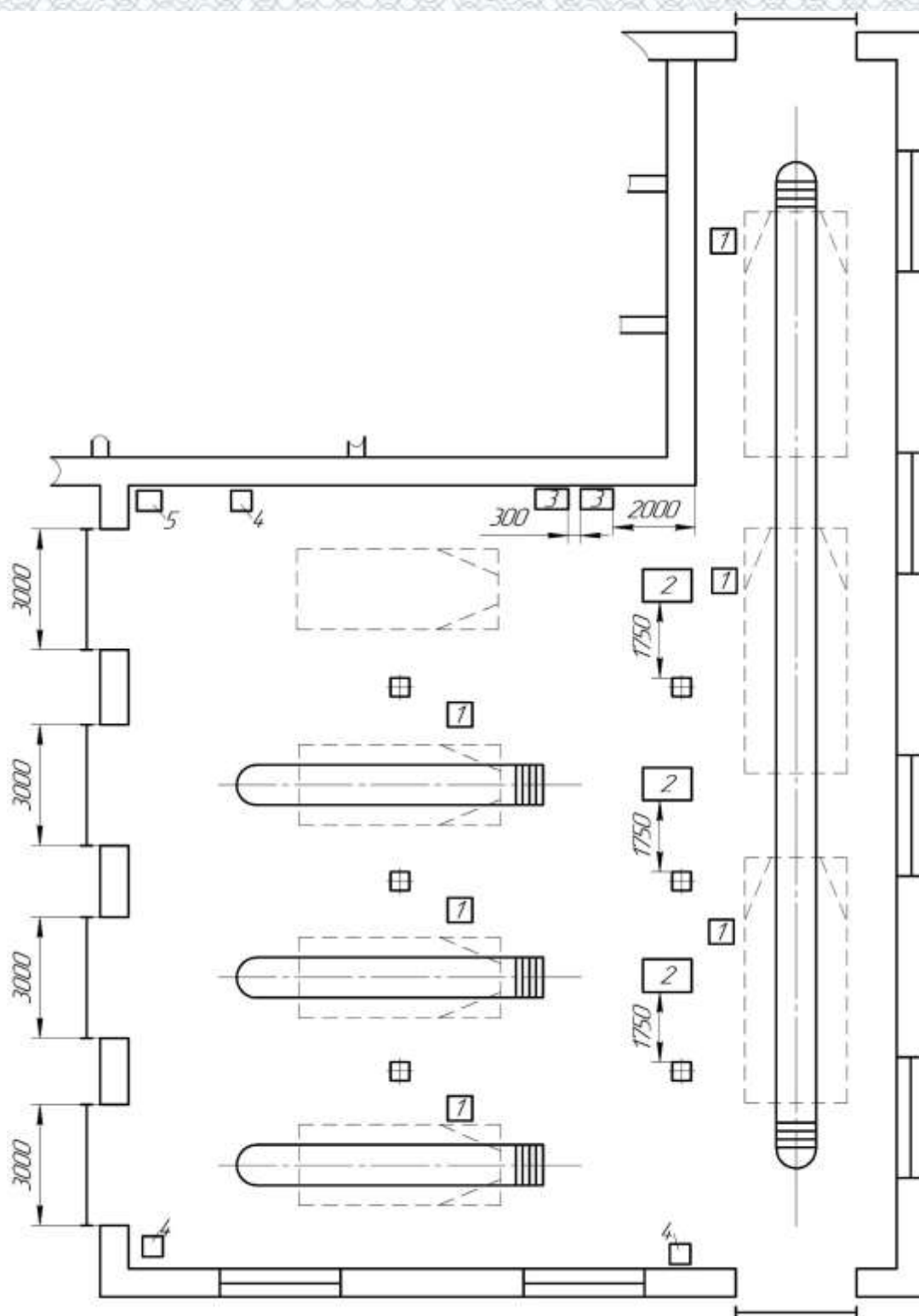
## 3.3.3 Розробка планувального рішення зони ТО і ПР

Згідно технологічних розрахунків та підбору обладнання виконаємо схематичне планування зони ТО і ПР. Планувальне рішення зони ТО і ПР з розташуванням обладнання представлено на рис. 3.1.

## 3.4 Висновки

1. Розрахунки обсягів робіт, кількості виробничих робітників, постів показали, що існуючі приміщення відповідають потребам, забезпеченість площами приміщень є достатньою.

2. Роботи по ремонту паливної апаратури виконуються на виробничих ділянках та зоні ТО і ПР. Для виробничих ділянок і зони ТО і ПР виконано підбір технологічного обладнання. Так як діагностування ДВЗ та системи Common Rail здебільшого здійснюється на автомобілі, було розроблено схематичне планувальне рішення зони ТО і ПР.



1 – візок з інструментом та обладнанням; 2 - верстак слюсарний; 3 - шафа з обладнанням та інструментом; 4 – бак для ветоші; 4 – бак для сміття

Рисунок 3.1 – Планувальне рішення зони ТО і ПР

## 4 РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИК ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ COMMON RAIL

### 4.1 Аналіз існуючих стратегій експлуатації автомобілів з системою живлення Common Rail і зміни технічного стану її елементів

Ефективність експлуатації автомобіля з дизелем, оснащеним системою живлення CR оцінюється сукупністю параметрів, до яких віднесемо, в першу чергу, витрати на експлуатацію (витрата палива, вартість ТО і ремонту, запасних частин, витратних матеріалів), тягово-швидкісні властивості, димність (токсичність) відпрацьованих газів, пускові властивості двигуна.

Існуючі стратегії експлуатації представимо у вигляді трьох різновидів.

1. Стратегія експлуатації до виникнення відмови, що визначається за результатами індикації бортової системи самодіагностики і/або істотного погіршення тягово-швидкісних властивостей, паливної економічності, димності відпрацьованих газів тощо.

Цей підхід є найбільш поширеним в експлуатаційних умовах і, як правило пропонується фірмами-автовиробниками. Він включає в себе перелік обов'язкових робіт (ОР), а ремонт призначається за потребою і проводиться заміною несправних агрегатів цілком (наприклад, форсунки змінюються повністю всім комплектом). Діагностика використовується тільки для пошуку несправного елемента за допомогою вбудованих або комбінованих засобів технічного діагностування (сканерів). Використання зовнішніх універсальних засобів не передбачено.

З точки зору автовиробника ця стратегія обґрунтовується тим, що ресурс елементів, на їхню думку, приблизно рівний, а розбирально-складальні роботи мають велику трудомісткість і вартість (через обов'язкову заміну деяких елементів, наприклад, конекторів високого тиску). Щоб уникнути збитків, викликаних простоем техніки, підприємства, які експлуатують ТЗ з системою подачі палива Common Rail, змушені мати в наявності завідомо справні елементи: ПНВТ, форсунки (комплект або кілька комплектів), дозуючі пристрої.

2. Стратегія, в цілому аналогічна попередньої, але передбачає діагностування системи живлення CR із застосуванням також зовнішніх стендових засобів діагностування, наприклад, в умовах спеціалізованих підприємств технічного сервісу паливної апаратури дизельних двигунів. Стендова діагностика в даному випадку дозволяє більш гнучко підійти до призначення ремонтно-профілактичних впливів і не виключає необмеженого ремонту відмовили елементів системи Common Rail. Такий підхід дозволяє більш повно використовувати ресурс системи Common Rail, але при цьому простій техніки збільшується внаслідок необхідності ремонту системи живлення на спеціалізованому підприємстві. Крім того, в порівнянні з попереднім варіантом з'являються додаткові витрати на перевірку елементів, таких як ПНВТ і електрогідравлічні форсунки в стендових умовах. Наявність завідомо справних (нових або відремонтованих) елементів не потрібна, однак підприємства, які експлуатують ТЗ з системою подачі палива Common Rail, для скорочення часу простоїв техніки в ремонті, як правило, в запасі мають справний комплект паливної апаратури.

3. Стратегія експлуатації, заснована на тому, що діагностування системи живлення Common Rail при управлінні технічним станом автомобіля призначена не тільки для пошуку місця відмови, а й для визначення моменту настання граничного стану. Вона передбачає застосування як вбудованих і комбінованих засобів технічного діагностування, так і зовнішніх універсальних, причому безпосередньо на автомобілі. Подібний підхід дозволяє уникнути додаткових витрат, пов'язаних зі стендовою перевіркою і необґрунтованого демонтажу ще придатних виробів. Крім того, ресурс системи CR також використовується більш повно.

В ході збирання інформації на спеціалізованому підприємстві технічного сервісу паливної апаратури «Алекс-Дизель» було виявлено, що ресурс окремих елементів системи CR, в тому числі однойменних неоднаковий. Найбільшу частоту відмов мають електрогідравлічні форсунки. Це цілком зрозуміло, тому що вони працюють в найбільш несприятливих умовах, що посилюються можливістю

потрапляння неякісного палива, механічних забруднень або води. Представлені на рис. 4.1 статистичні дані відмов відображають якісну картину їх прояви.

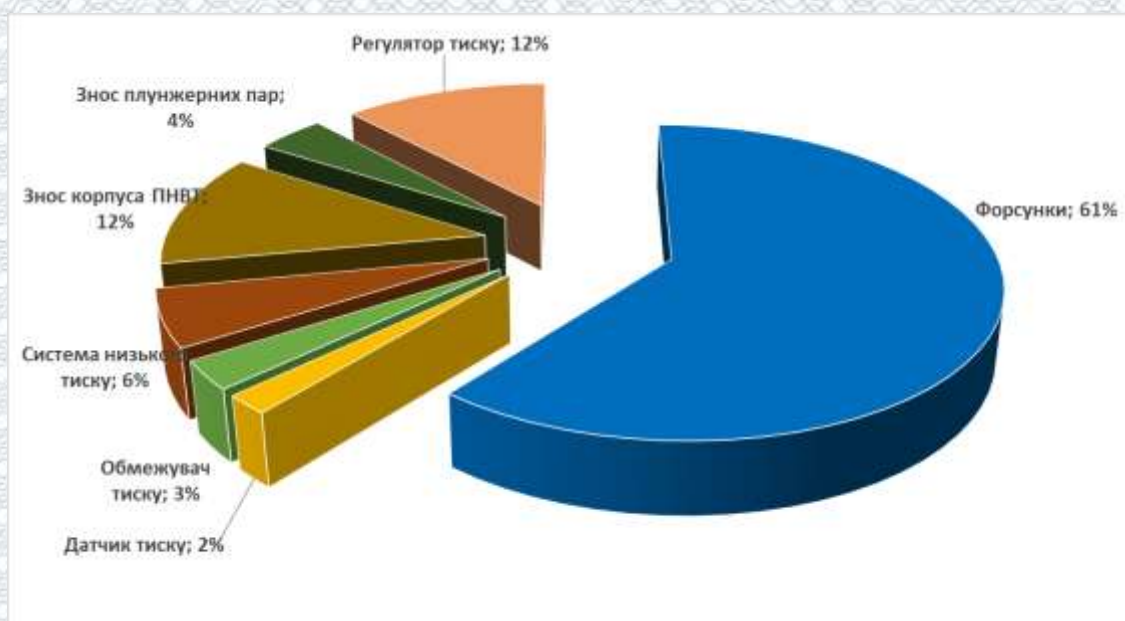


Рисунок 4.1 - Статистичний розподіл відмов системи живлення CR

Фактичний ресурс прецизійних елементів електрогідравлічних форсунок навіть для однієї і тієї ж марки в межах одного підприємства може варіюватися в дуже широких межах. Цей момент обумовлений впливом найбільш значущих чинників. З одного боку – якості проведеного ТО, яке обмежується заміною фільтруючих елементів, і з іншого боку ймовірністю застосування неякісного палива з забрудненнями і водою. Причому, якщо перший фактор є керованим, то другий – практично непередбачуваний.

Технічний стан окремих компонентів системи живлення CR змінюється зі збільшенням пробігу автомобіля. Несправності, що виникають в процесі експлуатації мають різну тяжкість наслідків і множинні причинно-наслідкові зв'язки. Наприклад, попадання частинок бруду в наповнюючий жиклер електрогідравлічних форсунок може його закупорити, або значно зменшити прохідний перетин.

У підсумку в циліндр дизеля потрапляє неконтрольована порція палива, що часто призводить до аварійних поломок двигуна і може спровокувати навіть

гідроудар. А ось причини потрапляння забруднень можуть бути різними: як металева стружка від компонентів ПННТ і ПНВТ, так і привнесені ззовні забруднення при знятті-установці трубок високого тиску, форсунок тощо.

Багато несправностей були викликані проведенням неякісного обслуговування. В основному, при заміні фільтруючих елементів або зняття / установки форсунок. Крім попадання абразивних забруднювачів з паливом ззовні, встановлені і внутрішні їх джерела – в першу чергу це насоси високого і низького тисків, а також металеві перегородки (алюмінієві або сталеві) паливних баків. Знос зазначених елементів призводить до утворення металевої стружки, яку часто не здатний повністю затримати штатний фільтр тонкого очищення палива. Незважаючи, на досить високу надійність ПННТ і ПНВТ, ймовірність появи стружки від них істотно зростає зі збільшенням пробігу понад 100-150 тис. км.

Тим часом, регулятори тиску і ПНВТ схильні до абразивного зношування в меншій мірі, ніж форсунки. При подібному збігу обставин при проведенні профілактичних чисток внутрішніх поверхонь ПНВТ його ресурс, як правило, двотрикратно перевищує ресурс форсунок. Переважною несправністю для ПНВТ є порушення герметичності впускних клапанів (понад 74%). У цьому випадку можлива навіть повна відсутність здатності створювати високий тиск, і подача ПНВТ при цьому значно знижується. Однак, в ряді випадків було виявлено потрапляння забруднень під впускний клапан, і після стендової перевірки ПНВТ його працездатність відновлювалася.

Абразивний знос плунжерних пар відзначений практично на всіх ПНВТ, які не мають DLC-покриття, однак критичні задираки зустрічаються рідше. Природно, це викликає загального зниження подачі і тиску в системі CR. У деяких типах ПНВТ (CR3 Bosch, переважно дизелів Cummins) знос плунжерних пар є лімітуючим ресурс всього ПНВТ, тому що пара виконана з корпусом спільно. Поломки пружин і плунжерних пар також зустрічаються досить рідко (частіше на двох плунжерних ПНВТ HP3 від Denso), на відміну від задирів вала і втулок, особливо у насосів, змащуваних паливом. Останнє призводить до збільшення радіального люфту і ймовірності виникнення поломки вала або потрапляння стружки в магістраль

високого тиску. Це в свою чергу призводить до необхідності ремонту всієї системи CR, куди входять чистка/заміна баків і магістралей, а також гарантованого виходу з ладу форсунок.

Дозируючий електромагнітний пристрій (регулятор витрати або потоку на впуску) відмовляє частіше ніж насоси високого тиску. В основному, зустрічаються підклинювання дозуючого золотника, яке однозначно системою самодіагностики не виявляється, на відміну, наприклад, від стану електричних ланцюгів або обмоток. У свою чергу, такі несправності провокують спрацьовування запобіжного клапана паливної рампи, аж до втрати ним герметичності. В окремих випадках виявлені міжвиткові замикання обмотки і заклинювання дозуючого золотника (в основному, після попадання води). Слід зазначити також, що за технологією заводу виробника ремонт дозуючих пристроїв не передбачено. Тим часом, при відсутності відмов електромагнітних котушок, в більш ніж 85% випадків ремонт не тільки можливий, а й доцільний. Перевірка функціонування клапанів регулювання потоку палива на впуску після проведення ремонтних робіт можлива як в складі ПНВТ, так і окремо.

До лінії високого тиску віднесено сам акумулятор палива, трубки високого тиску і датчик тиску палива. Несправності цієї групи більш рідкі, ніж відмови форсунок, і обумовлені переважно впливом людського фактора. До таких несправностей відносяться: недотримання моментів затягування різьбових з'єднань, потрапляння бруду під трубки високого тиску при необґрунтованому розбиранні, зминання ущільнюючих конусів конекторів через неспіввісність установки до вхідних поверхонь форсунок. Датчики тиску палива теж відмовляють досить рідко.

Найбільший відсоток несправностей електрогідравлічних форсунок припадає на порушення герметичності запірного клапана, перевищення по допуску циклових подач (як в меншу, так і в більшу сторону), пошкодження електромагніту і корпусу форсунки.

При збільшенні пробігу у форсунок найбільш часто спостерігається збільшення циклових подач, в порівнянні з номінальними значеннями. Для цього є



кілька причин. По-перше, абразивний знос отворів розпилювачів (усувається заміною розпилювача). По-друге, порушення герметичності запірного клапана, включаючи шток, що приводить до надлишкової розвантаження керуючої камери і зміни робочого процесу форсунки. По-третє, порушення регулювань (як через людський фактор, так і в силу природних причин).

З огляду на, що будь-яких профілактичних робіт по системі живлення (крім обмеженого переліку робіт) не передбачено, її експлуатація можлива і доцільна лише за фактичним станом. При такому підході діагностування відводиться ключова роль, в тому числі вбудованому. Реакція системи бортової самодіагностики на погіршення технічного стану будується по компромісному принципу – або фіксація тільки граничного стану системи подачі палива або будь-якого граничного стану (тобто в більш жорстких допусках). При першому підході з'являється вірогідність погіршення техніко-економічних показників автомобіля, у другому – неможливий пошук місця дефекту засобами самодіагностики, що погіршує експлуатаційні показники ТЗ, наприклад, через включення аварійного режиму роботи.

Несправності форсунок, пов'язані із зносом і порушенням фіксуються ЕБК побічно, через реєстрацію зниження загального магістрального тиску в порівнянні з заданим. Це також тягне за собою спроби заміни акумуляторної паливної апаратури на традиційну з неминучим погіршенням потужнісних і екологічних показників, але підвищенням надійності, тобто програмного відключення. Виявлення таких випадків стає ще одним актуальним завданням діагностики.

Для боротьби із забруднювачами і водою автомобілі з дизельними двигунами оснащуються захисно-сигналізують пристроями. Забруднення в більшості випадків затримуються до потрапляння в лінію високого тиску шляхом фільтрації, за винятком випадків, коли джерело бруду – сама паливна апаратура (ПНВТ, ПННТ, бак). Для сигналізації про наявність води в паливі передбачений спеціалізований датчик, що встановлюється, як правило, в фільтрі тонкого очищення. Ефект від його застосування в умовах експлуатації може бути тільки тоді, коли вміст води незначний і вчасно виявлений. Але, на жаль, частіше за все саме велика кількість

води, що пройшла через фільтр, гарантовано призводить до відмови системи живлення, в тому числі аварійного. Ситуація може ускладнитися тим, що відновлення працездатності окремих елементів, наприклад, ПНВТ і форсунок стає недоцільною. У зв'язку з цим, вода – фактор, що найбільш сильно впливає на надійність Common Rail. Другий за значимістю – наявність абразивних забруднень.

Бортова система самодіагностики досить ефективна для безперервного контролю технічного стану системи живлення в складі ЕСКД. Але вона фіксує, як правило, загальний технічний стан і лише вказує напрям пошуку і місця відмови. Як зазначалося раніше, бортова система реєструє в основному граничний стан. Це робить актуальним застосування додаткових методів і засобів діагностування для пошуку, визначення місця і причин відмов системи подачі палива, визначення правильності функціонування і виявлення несправностей на тій стадії, поки вони не привели до відмови автомобіля, двигуна і серйозних наслідків.

Найбільш доцільно організувати стратегію технічної експлуатації №3. Саму діагностику системи живлення Common Rail в складі ЕСКД слід додати до діагностичних робіт ТО в існуючій системі.

#### **4.2 Діагностування системи Common Rail за зміною тиску палива**

Тиск палива в акумуляторі тиску на холостому ході, а також при розгоні (в тому числі при вільному) є функцією технічного стану форсунок, ПНВТ, регулятора потоку і ЕСКД.

Кількість невідомих можна скоротити, якщо оптимізувати режими діагностування. Наприклад, здійсненням тестового впливу різким або плавним натисканням на педаль управління подачею палива, припиненням робочого процесу в циліндрах методом відключення подачі палива (в тому числі повністю у всіх циліндрів).

Повністю припинивши робочий процес (або аналізуючи характерні ділянки часової реалізації діагностичного сигналу) можна максимально можливо виключити вплив ЕСКД на процес зміни тиску в акумуляторі тиску. В результаті

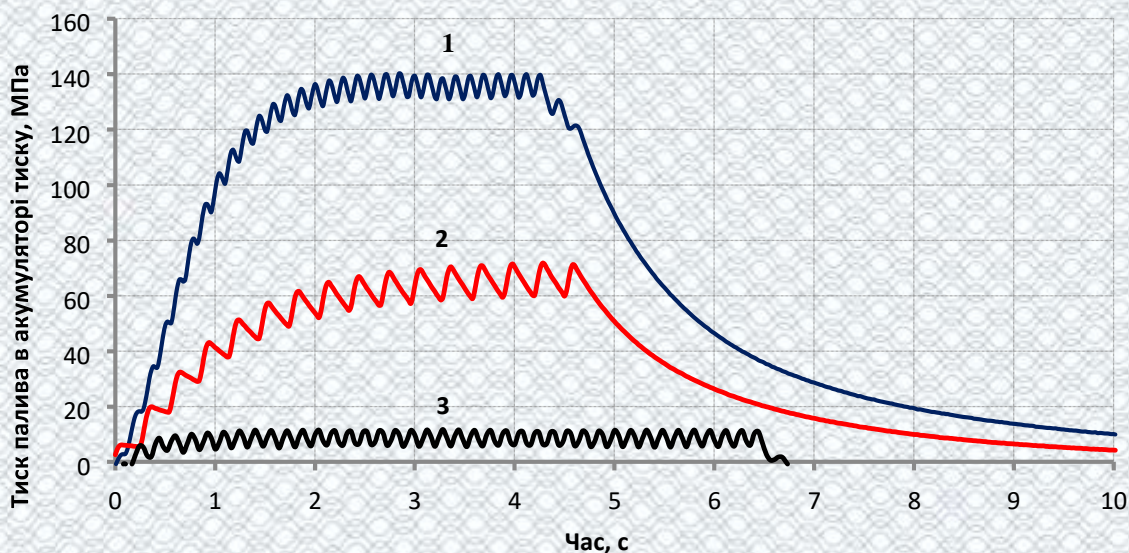
на формування поточного тиску впливають такі чинники: середня частота обертання валу ПНВТ, його об'ємна фактична подача і величина обсягу витоків.

Велику привабливість і інформативність для цілей діагностування мають параметри пускового режиму (зміна тиску в акумуляторі, нерівномірність обертання, а також напруга і струм). Це обумовлено рядом причин. По-перше, реєстрація цих параметрів не викликає будь-яких ускладнень на практиці. По-друге, при цьому може використовуватися універсальне вимірювальне обладнання. По-третє, завдяки малому підготовчо-заключному часу діагностування.

Проведені дослідження на базі центру «Алекс Дизель» дозволили зробити висновок, що характер зміни тиску виступає в якості діагностичного параметра, що відображає загальний технічний стан системи Common Rail, оскільки містить (згідно теоретичних положень, викладених в розділі 2) два доданки - подачу палива ПНВТ і витрату палива через нещільність лінії високого тиску. До останніх віднесемо сам акумулятор, клапан-обмежувач тиску, електрогідравлічні форсунки і їх з'єднання з рампою. Діагностику доцільно здійснювати на основі спільного аналізу ділянок наростання, утримання і падіння тиску в акумуляторі. Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що форма цих ділянок, а також їх кількісні параметри залежать перш за все від технічного стану елементів системи CR (рис 4.2).

При прокручуванні колінчастого вала двигуна стартером з повною подачею палива ПНВТ і відключеними електрогідравлічними форсунками, тиск спочатку зростає, потім стабілізується на деякому рівні і, при припиненні прокручування стартером, скидається через нещільності ЛВД.

Величина нещільності впливає не тільки на ділянку скидання тиску, а й на ділянки зростання і утримання. Це говорить також про те, що повільне зростання тиску погіршує і пускові властивості дизельного двигуна, оскільки для досягнення необхідного в акумуляторі тиску палива при значних витоках потрібно більше часу. У випадках, коли подача ПНВТ нижче допустимої і / або герметичність магістралей відповідає граничному стану – двигун взагалі може не запуститися стартером без засобів для полегшення пуску.



1 – робота двох секцій двосекційного ПНВТ, 2 – робота із зламаною однією секцією двосекційного ПНВТ, 3 – граничний технічний стан системи CR  
 Рисунок 4.2 - Графік зміни тиску палива в акумуляторі тиску при прокручуванні колінчастого вала двигуна стартером з повною подачею палива

Допущення про постійність середніх пускових оборотів двигуна в режимі прокручування стартером виправдано лише на ділянці зі сталим тиском в разі повністю зарядженої АКБ і хорошому технічному стані стартера і його електричних ланцюгів. Для ліквідації похибки в самому початку прокручування на ділянці зростання тиску необхідно враховувати і те, що колінчастий вал двигуна виходить на усталені звороти не відразу, а поступово

Аналіз результатів експерименту (див. рис. 4.2) дозволяє зробити висновок, що нерівномірність тиску на такті зростання обумовлена роботою плунжерів, причому в якості додаткового діагностичного параметра може виступати розмах коливань тиску палива і їх нерівномірність (рис. 4.3). Зокрема, амплітуда коливань тиску при поломці плунжерній пари двохплунжерного насоса (рис. 4.2) збільшується практично в два рази і більш ніж в два рази знижується максимальний тиск, що розвивається. Бортова система самодіагностики реагує на дану несправність побічно, як правило, фіксуючи в пам'яті несправностей код, пов'язаний з втратою тиску палива.

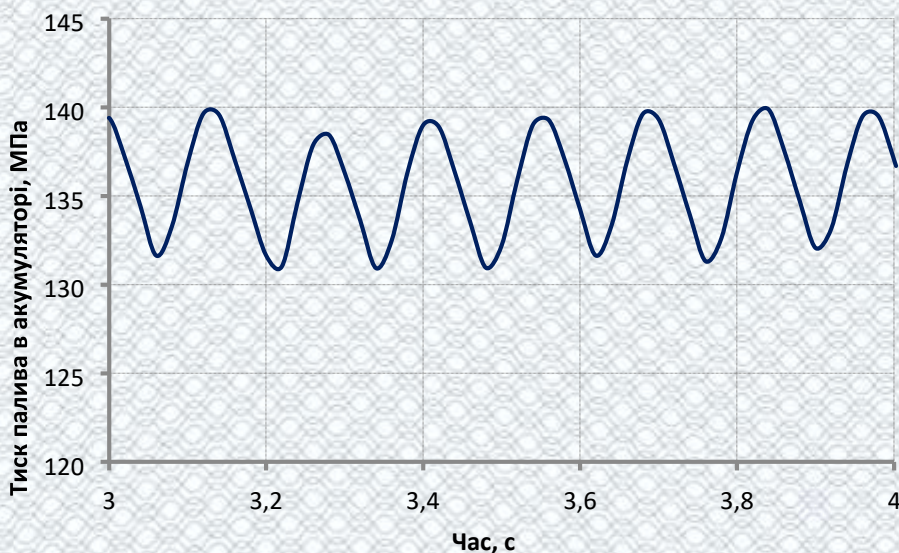


Рисунок 4.3 - Графік пульсації тиску в акумуляторі двигуна з триплунжерним ПНВТ в режимі прокручування колінчастого вала стартером з повною подачею

палива

Нерівномірність тиску в акумуляторі на режимах прокручування з повною подачею палива у триплунжерних ПНВТ СРЗ нижче, ніж у двоплунжерних НРЗ (див. рис. 4.3), однак вона теж може служити діагностичною ознакою для збільшення кількості інформації, одержуваної при діагностиці.

На рис. 4.4 представлений випадок, коли одна із секцій ПНВТ не створює необхідного тиску (явно виражений пропуск екстремуму тиску палива через негерметичність впускного клапана). Подальша дефектовка ПНВТ дозволила це підтвердити.

Проведені експериментальні заміри при використанні математичних залежностей (розділ 2) дозволили визначити межі допустимого і граничного стану для обраних діагностичних параметрів. Для аналізу взято максимальний тиск, що розвивається, величина нещільності і час пуску прогрітого дизельного двигуна. Зокрема, якщо площа нещільностей магістралей перевищує  $0,24 \text{ мм}^2$  пуск ДВЗ стає неможливим, тому що необхідний тиск не досягається при будь-якому технічному стані ПНВТ. Допустимою межею для даного параметра прийнята площа  $0,03 \text{ мм}^2$ . При цьому значенні пуск дизеля стійкий практично при будь-якому технічному стані ПНВТ. У той же час можна зробити висновок, що межа допустимого

параметра коефіцієнта зниження об'ємної подачі проходить при його значенні 0,6. При зазначених значеннях поглибленої поелементної діагностики для системи живлення CR в разі задовільних експлуатаційних показників автомобіля, як правило, не потрібно.

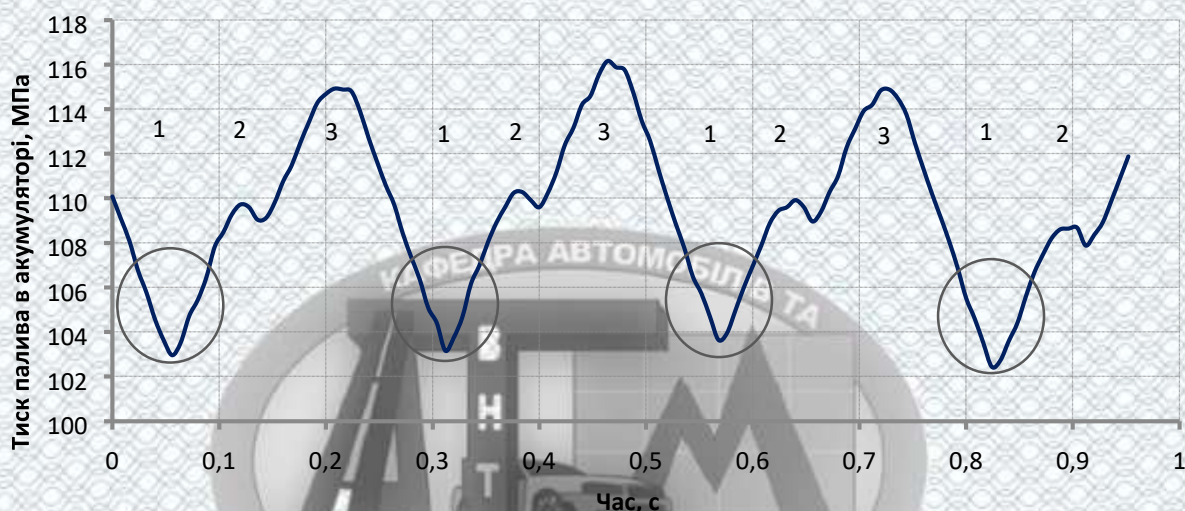
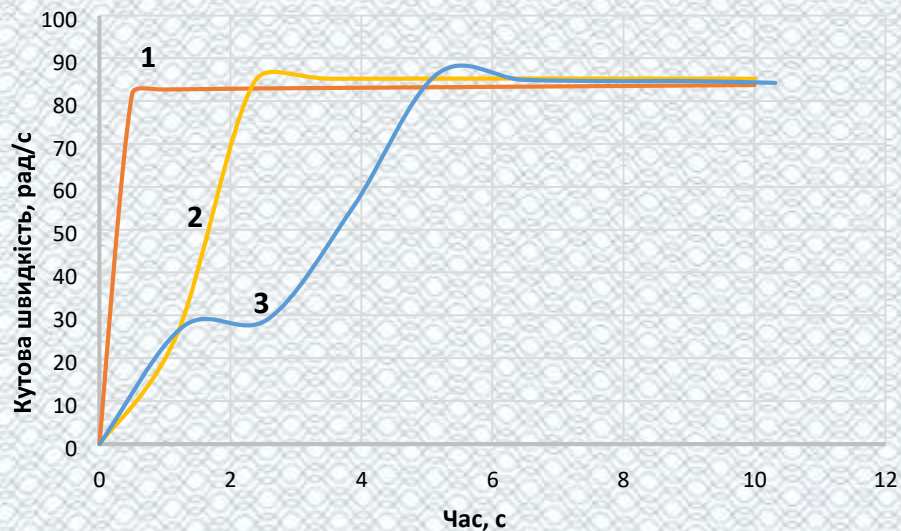


Рисунок 4.4 - Графік пульсації тиску в акумуляторі при роботі триплунжерного ПНВТ в режимі прокручування стартером з повною подачею палива (одна секція – перша не створює тиску через негерметичність впускного клапана)

Аналіз результатів дослідження залежностей кутової швидкості ДВЗ при пуску представлені на рис. 4.5 дозволяють зробити висновок, що будь-яке порушення в системі подачі палива призводить до збільшення часу пуску, а в окремих випадках пуск стартером і зовсім неможливий. Найбільший вплив на час пуску при інших рівних умовах надає герметичність лінії високого тиску. Це обумовлено тим, що для початку подачі керуючого імпульсу, потрібно досягнення певної величини тиску в акумуляторі (рис. 4.6).

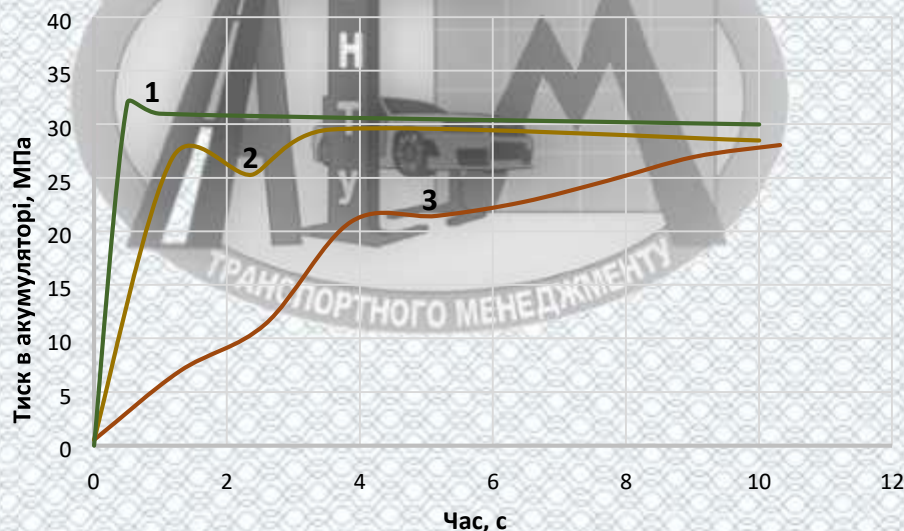
При цьому, якщо герметичність магістралей високого тиску знаходиться в допустимих межах, час пуску для більшості дизелів легкових автомобілів, легких вантажних автомобілів і мікроавтобусів не повинно перевищувати 2 с. В іншому випадку потрібно шукати місця витoku, навіть в тому випадку, якщо код несправності не фіксується.



1 - номінальна герметичність; 2 - допустима щільність; 3 - гранична герметичність

Рисунок 4.5 - Графік зміни середньої кутової швидкості при пуску дизельного

двигуна в залежності від технічного стану



1 - номінальна герметичність; 2 - допустима щільність; 3 - гранична герметичність

Рисунок 4.6 - Графік зміни тиску палива в акумуляторі в залежності від технічного стану системи Common Rail

На основі результатів досліджень розроблено алгоритм діагностування системи живлення Common Rail за характером зміни тиску при прокручуванні колінчастого вала дизельного двигуна стартером (рис. 4.7).

Алгоритм включає в себе обов'язкові операції з аналізу кодів несправностей в пам'яті ЕБК за допомогою сканера, або інформаційного табло автомобіля. Для забезпечення максимальної продуктивності ПНВТ необхідно забезпечити максимальну подачу через клапан регулювання потоку (дозуючий пристрій). Для

нормально відкритих клапанів живлення може бути відключено, для нормально закритих – подається сигнал широтно-імпульсної модуляції з середнім значенням сили струму, що відповідає максимальному прохідного перетину. Після цього двигун прокручується стартером протягом 2,5-3 с, і записується сигнал тиску в акумуляторі, в тому числі і після зупинки. Записаний сигнал обробляється, для чого відбувається підбір площі умовних нещільності для ділянки скидання тиску до досягнення необхідної точності. Надалі за цим значенням розраховується продуктивності ПНВТ і коефіцієнт зниження об'ємної подачі. Алгоритм також передбачає аналіз пускових якостей і інших складових ЕСКД.

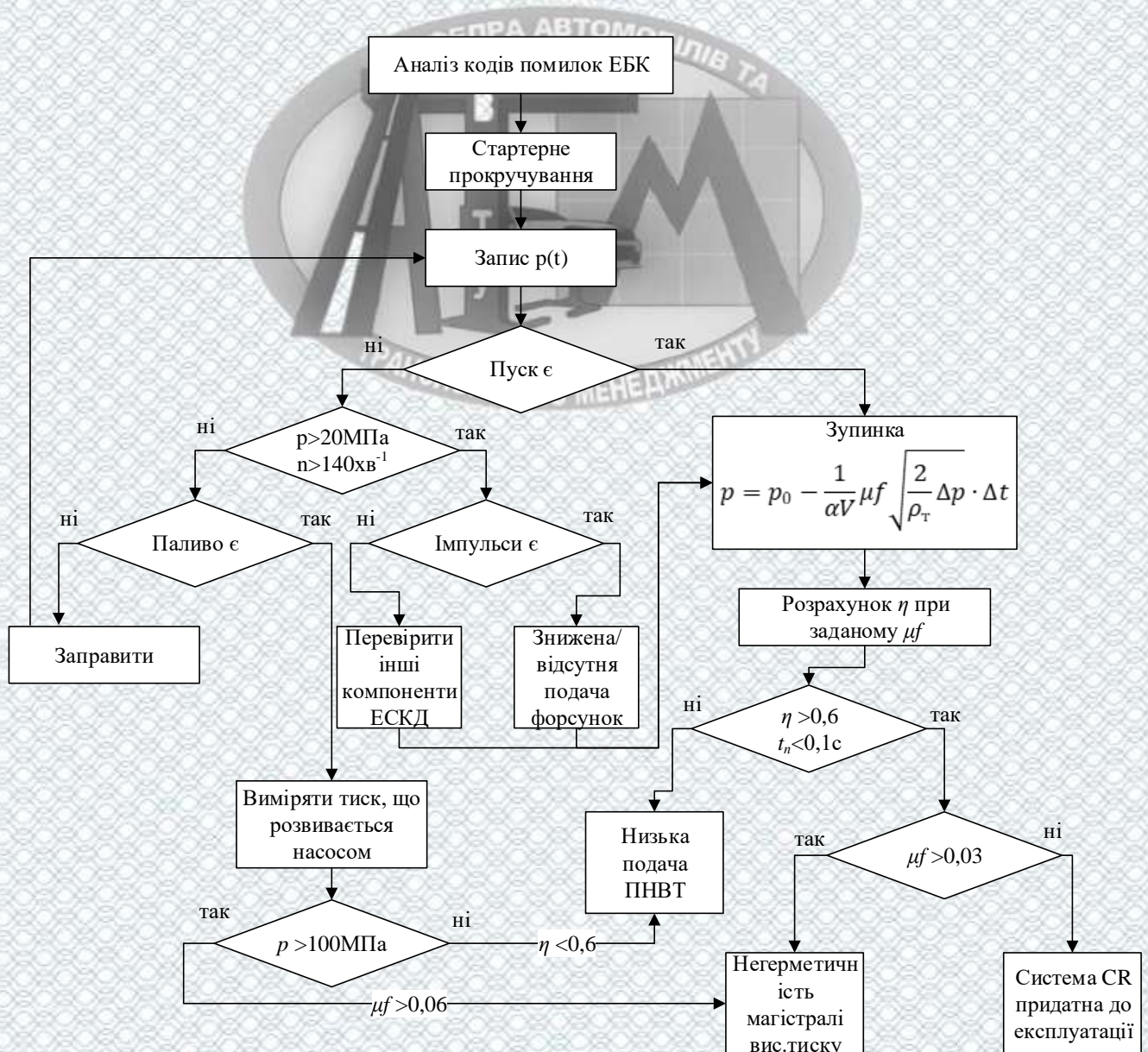


Рисунок 4.7 - Алгоритм діагностування системи живлення Common Rail за параметрами зміни тиску палива в акумуляторі палива



Додаткові параметри, виміряні в режимі прокручування стартером дозволять збільшити кількість інформації про технічний стан дизельного двигуна.

### 4.3 Діагностування системи Common Rail динамічним методом

Нерівномірність обертання колінчастого вала є цінним діагностичним параметром, оскільки обумовлена не тільки наявністю кривошипно-шатунного механізму, а й циклічністю робочих процесів в циліндрах, на які впливає і технічний стан електродвигачних форсунок.

Режим холостого ходу є одним з базових при проведенні діагностичних операцій. При цьому зовнішнє навантаження на двигун дорівнює нулю, а весь індикаторний момент витрачається на подолання моменту механічних втрат. Рівномірність роботи циліндрів дизеля на холостому ходу не завжди свідчать про їх справності, тому що, наприклад, при невеликому зниженні герметичності циліндра і збільшенні подачі палива, крутний момент і потужність циліндра можуть залишитися на колишньому рівні [15]. Для усунення невизначеності технічного стану необхідно скористатися тестовим впливом - припиненням робочого процесу в циліндрі, що перевіряється. При цьому інтерес представляє не тільки якісний прояв реакції на тестове вплив, а й кількісні показники. В якості діагностичних параметрів доцільно використовувати внутріциклову зміну швидкості і прискорення колінчастого вала.

Як правило, при відключенні циліндрів з роботи визначається їх рівномірність роботи.

При аналізі балансів потужності циліндрів на холостому ходу методом почергового відключення зазвичай користуються порівнянням падіння середньої кутової швидкості відносно початкової. За найпотужніший приймаючи той, у якого падіння  $\Delta\omega$  найбільше [15]. Цю оцінку слід розглядати, як дуже грубу і неточну. У разі відключення циліндра у двигуна з системою CR характер зміни кутової швидкості ще складніший (рис. 4.8), а падіння оборотів практично не помітно.

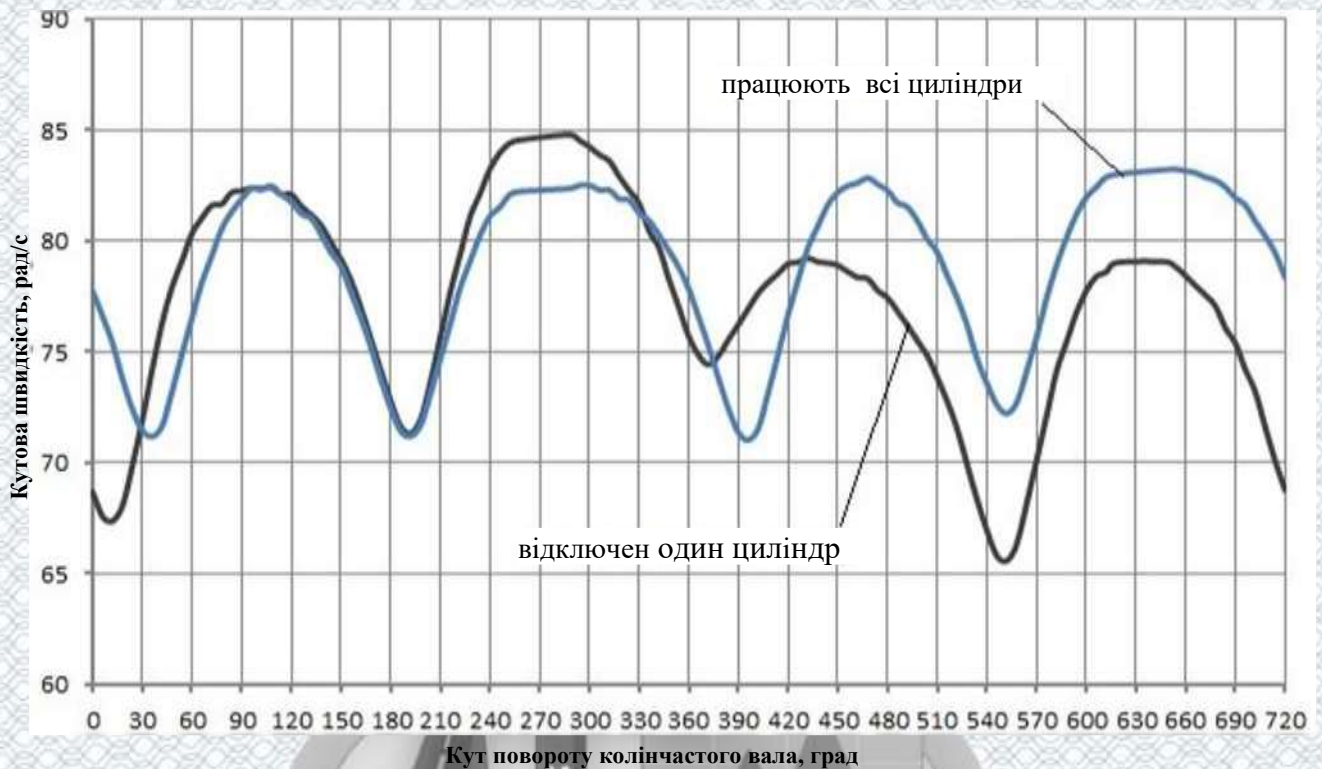


Рисунок 4.8 - Графік зміни кутової швидкості колінчастого вала двигуна з системою Common Rail на холостому ходу при відключенні подачі палива в один з циліндрів

Діагностування двигуна на холостому ходу дозволяє лише орієнтовно оцінити розподіл балансу потужностей по циліндрах. Так, наприклад, з діагностичних параметрів більшу чутливістю мають збільшення кутової швидкості на такті «Робочий хід» в процесі розширення, збільшення кутових швидкостей від мінімуму до максимуму (оскільки воно починається в околицях ВМТ), а також значення максимумів кутових прискорень в зазначених кутових інтервалах і різницю  $\Delta\epsilon_{\min}-\Delta\epsilon_{\max}$ . Відхилень значень кутової швидкості і прискорення якогось конкретного циліндра від інших вказує лише на наявність несправності. Для локалізації можливої несправності необхідний додатковий тестовий вплив (припинення робочого процесу в перевірених циліндрах). При цьому прискорення в інтервалі, відповідному такту «робочий хід» у циліндра, що перевіряється, обумовлено вчиненням корисної роботи стисненого повітря в відключеному циліндрі, а значить, залежить і від його герметичності.

По черзі вимикаючи з роботи циліндри, отримані наступні показники кутових швидкостей і прискорень (рис. 4.9 і 4.10).

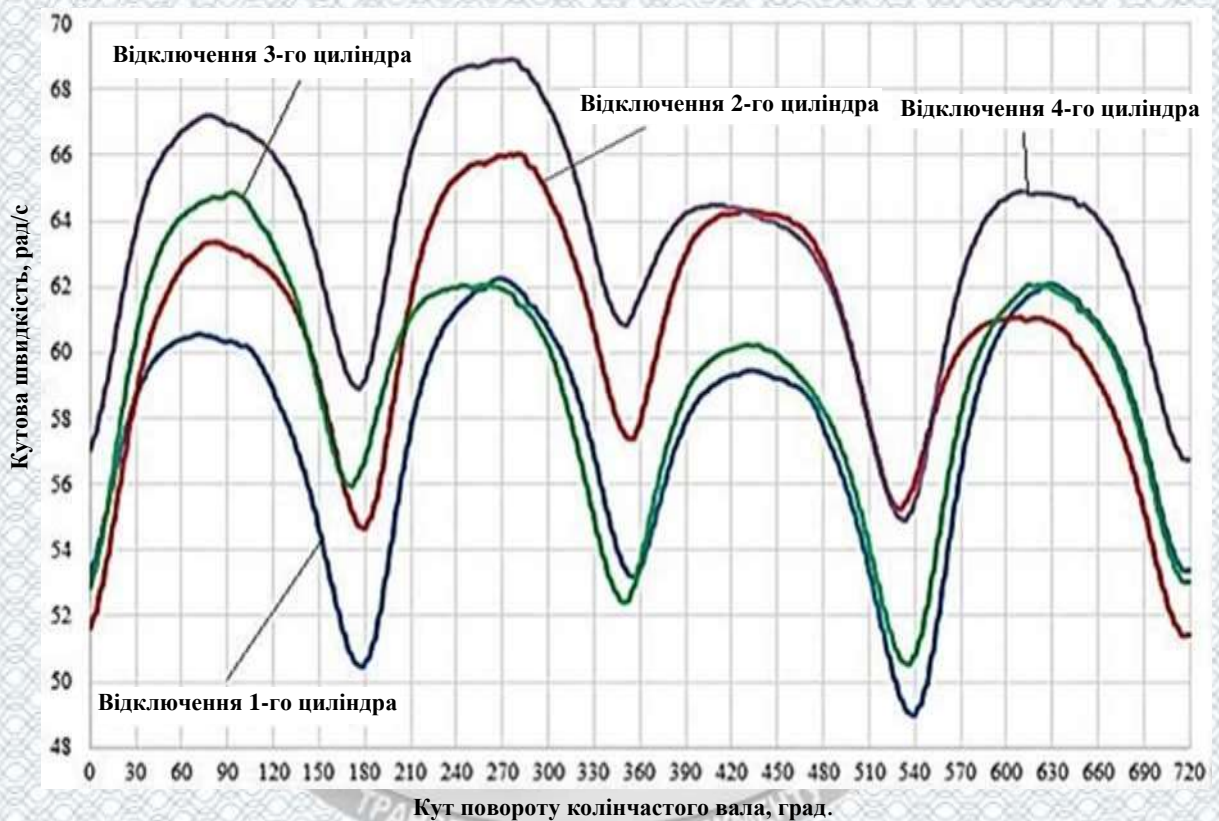


Рисунок 4.9 - Графік зміни кутової швидкості колінчастого вала при відключенні подачі палива в циліндри

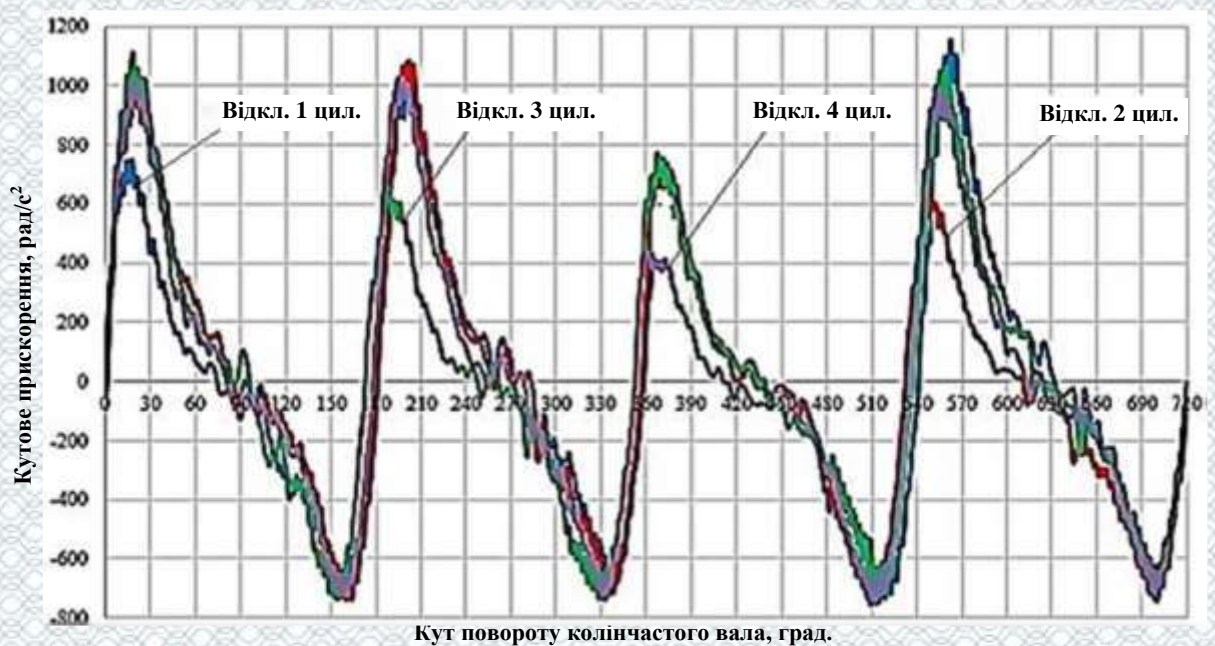


Рисунок 4.10 - Графік зміни кутового прискорення колінчастого вала при відключенні подачі палива в циліндри

Статистична обробка даних досліджень по ряду дизелів дозволила зробити висновок, що діапазон максимальних миттєвих позитивних прискорень для дизелів робочим об'ємом 2,5...5,2 л для справних циліндрів склав 850...950 рад/с<sup>2</sup> (значення вищі зазначених можливі тільки при перевищенні подачі), а для відключених 600...750 рад/с<sup>2</sup>.

При роботі двигуна на холостому ході кутова швидкість колінчастого вала (а значить і поршня) в три-чотири рази вище, ніж при стартерному режимі. Крім того, максимальний тиск стиснення досягається в околицях ВМТ, але процес витоків повітря через нещільності циліндро-поршневої групи не припиняється. Це означає, що чутливість діагностичного параметра компресії до нещільності циліндра стає менше.

Великі перспективи і можливості представляє застосування перехідних режимів діагностування. Класичним варіантом є динамічний метод, при якому прискорення колінчастого вала забезпечується швидким натисканням на педаль управління подачі палива, а вибіг – відповідно при її відпусканні. Спочатку цей режим призначався за задумом авторів для визначення ефективної потужності двигуна [2,14,16]. Надалі функціональність методу значно збільшилася.

Впровадження ЕСКД на двигуни сучасних автомобілів, в тому числі, оснащених системою Common Rail вимагає детального вивчення можливості застосування динамічних методів для діагностики. Слід зазначити, що багато систем управління двигуном мають обмеження на прискорення колінчастого вала без навантаження, внаслідок чого номінальний режим може бути фактично не досягнутим, причому не залежно від темпу переміщення (тестового впливу) педалі управління подачею палива. Крім того, ефективна потужність двигуна є інтегральним показником і придатна в якості діагностичного параметра в основному при функціональному діагностуванні [15,37].

При здійсненні робочого процесу в циліндрах дизельного двигуна діагностування системи живлення відбувається спільно. При відсутності зовнішнього навантажувального моменту, двигун і система живлення

діагностуються на сталих (наприклад, режим холостого ходу), або неусталених (режим розгін-вибіг).

Відповідно до теоретичних викладок (див. розділ 2), будемо вважати, що кутове прискорення колінчастого вала в кутовому проміжку, відповідному такту «робочий хід» циліндра що перевіряється, залежить від двох параметрів: герметичності циліндра і циклової подачі палива. Перший з них відноситься власне до самого ДВЗ, а другий обумовлений технічним станом системи живлення, і в першу чергу електрогідравлічними форсунками.

Для опису режимів розгону введемо наступні визначення. Інтенсивний розгін – розгін колінчастого вала дизельного двигуна з мінімальної частоти обертання на холостому ходу до деякої частоти обертання (наприклад, номінальної) швидким переміщенням педалі управління подачею палива (час утримання педалі в максимальному положенні не більше 1 с). Таким чином, дизель на певний нетривалий час навантажується інерційним моментом повністю, а циліндри в цей час працюють з максимально можливою подачею палива, яка визначається поточним тиском в акумуляторі і калібрувальними значеннями ЕБК. По факту – це перша фаза розгону колінчастого вала до зниження подачі палива контролером двигуна.

Плавний розгін – розгін колінчастого вала дизеля з мінімальної частоти обертання на холостому ходу, до деякої частоти обертання (наприклад, номінальної) плавним переміщенням педалі керування подачею палива (за час 2-3 с). Таким чином, дизель навантажується інерційним моментом в повному обсязі, а циліндри в цей час працюють з подачею палива, яка визначається поточним тиском в акумуляторі і калібрувальними значеннями ЕБК.

Проведений аналіз дослідних даних показав, що час переміщення педалі управління подачею палива від початкового до максимального становить 0,4...0,54 с. У межах зазначеного діапазону не відзначено значного розкиду показань, як по прискоренню, так і по залежності тиску від частоти обертання при нормальному технічному стані електрогідравлічних форсунок. Фаза утримання педалі в

натиснутому 100%-му значенні встановлювалася при експериментах тільки до досягнення кутової швидкості не більше 300 рад/с.

Початок фази інтенсивного розгону ілюструють рис. 4.11 і 4.12.

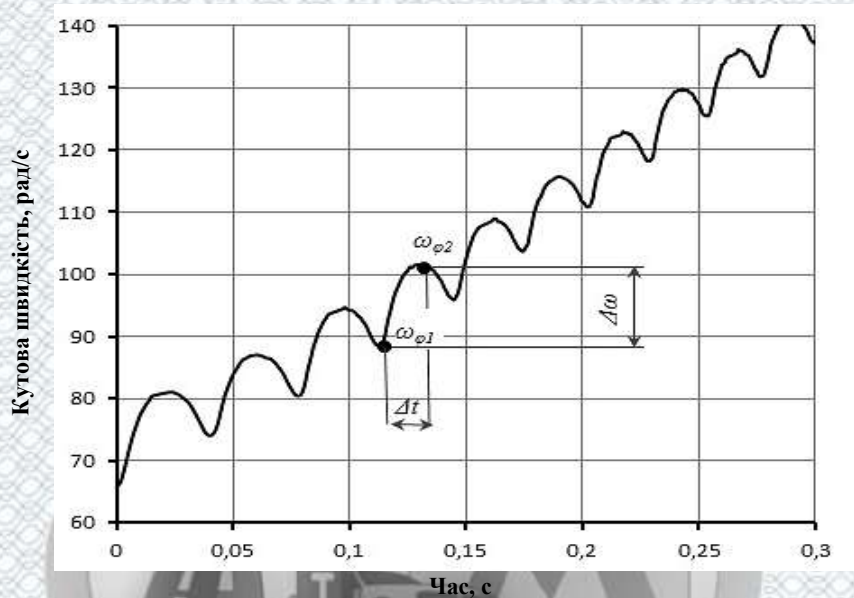


Рисунок 4.11 - Графік зміни кутової швидкості колінчастого вала чотирициліндрового дизельного двигуна при інтенсивному розгоні в початковій фазі

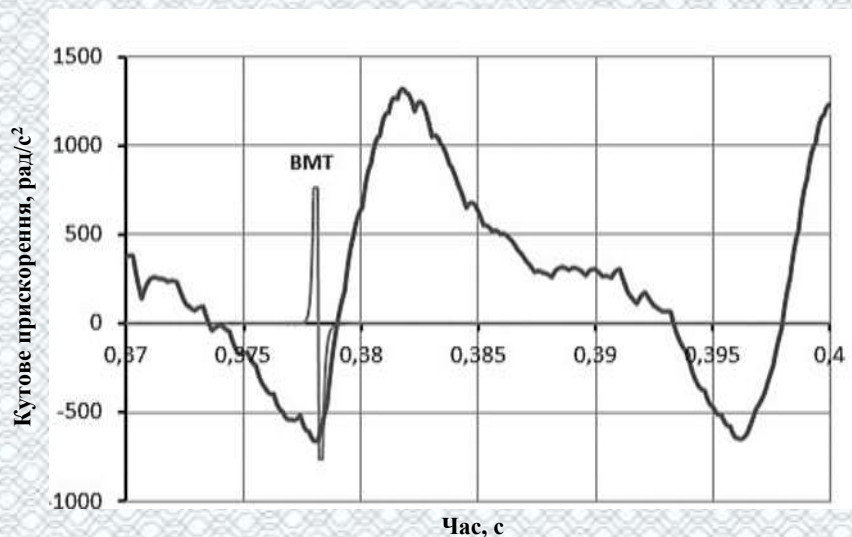
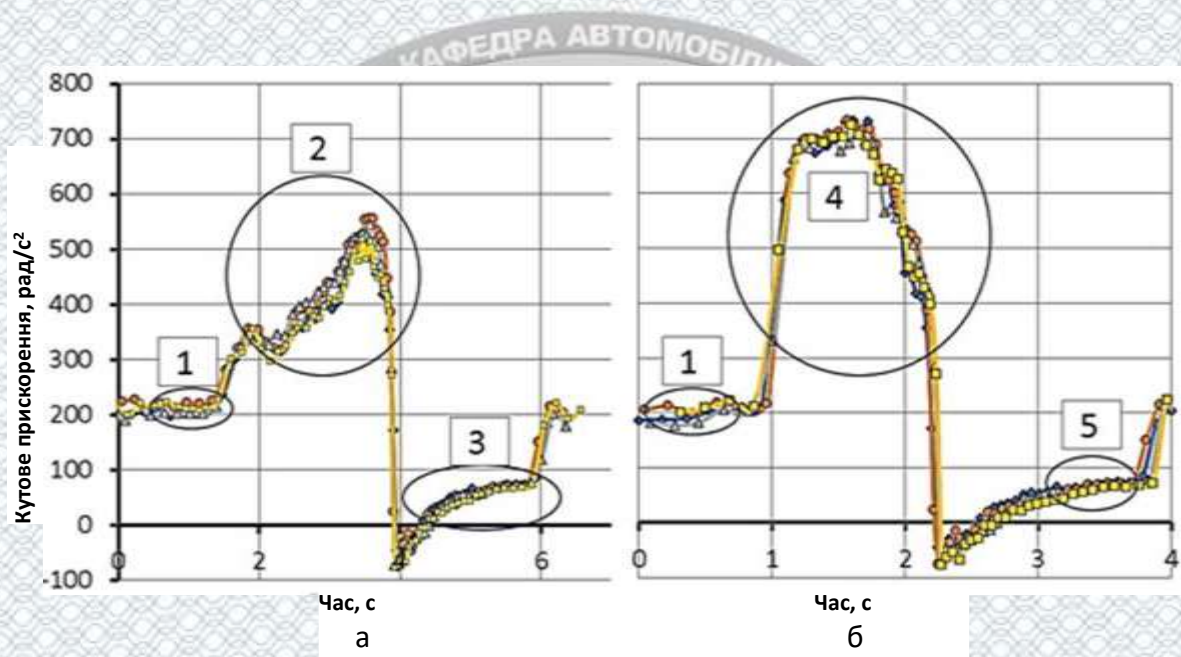


Рисунок 4.12 - Графік миттєвого кутового прискорення колінчастого вала дизельного двигуна при інтенсивному розгоні в початковій фазі, що відповідає одному циліндру

При збільшенні кутової швидкості в режимі інтенсивного розгону відбувається значне спотворення миттєвого кутового прискорення колінчастого вала через змінність моменту інерції обертових мас, приведених до колінчастого вала. Щоб уникнути ускладнення обробки діагностичного сигналу в подальшому прискорення усереднюється (за аналогією із середнім індикаторним тиском). Фактичний початок кутового інтервалу усереднення позитивного прискорення, відповідає знаходженню поршня  $5...7^\circ$  після ВМТ (рис. 4.11).

Формування областей діагнозів при діагностуванні динамічним методом показано на прикладі рис. 4.12.



1 - область холостого ходу; 2 - область плавного розгону; 3 - область вибігу колінчастого вала; 4 - область інтенсивного розгону; 5 - область, яка характеризує рівномірність герметичності циліндрів

Рисунок 4.12 - Графік формування областей діагнозів при діагностуванні дизельного двигуна з системою Common Rail динамічним методом: а - режим плавного розгону; б - режим інтенсивного розгону

При проведенні досліджень на двигунах різних моделей виявлено, що середні кутові прискорення пропорційні поточній циклової подачі в циліндр, і можуть виступати в якості кількісної оцінки технічного стану електрогідравлічних

форсунок. Відносна різниця кутових прискорень колінчастого вала має більшу інформативність.

Статистична обробка середніх прискорень (на прикладі дизельного двигуна 4НК1) показала, що, як правило, при настанні граничного стану електрогідравлічних форсунок середнє кутове прискорення на такті «робочий хід» цього циліндра збільшується. Зазначений факт пояснюється зростанням циклової подачі

Проведені дослідження діагностування дизельного двигуна з системою CR дозволили розробити алгоритм діагностування, представлений на рис. 4.13.

Параметри технічного стану піддамо ранжуванню, виходячи з міркувань чутливості діагностичних ознак, а також допусків на їх зміну. В першу чергу, нас цікавлять параметри, які найбільш сильно впливають на потужність циліндра – герметичність і циклова подача [4]. При цьому, дослідження [20] показують, що герметичність циліндра до 10% відповідає номінальному технічному стану, від 10 до 20% – допустимий стан, до 30% – відповідає граничному стану, але циліндр зберігає працездатність, зниження більш ніж на 50% призводить до непрацездатного стану і є найбільш трудомісткою з точки зору усунення. Проміжні значення представляються слаборозрізненими в рамках зазначених методів діагностування. Нормою для циклової подачі призначимо відхилення в межах  $\pm 15\%$  від заданого для режиму холостого ходу. Можливі поєднання зведемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Комбінації можливих несправностей циліндра

Параметри		Герметичність циліндра		
		Нормальна	Знижена (20-30%)	Знижена понад 50%
Циклова подача палива, мм <sup>3</sup>	Завищена	Д1, Д7	Д4	Д6
	Нормальна	Д2	Д5	
	Знижена	Д3		



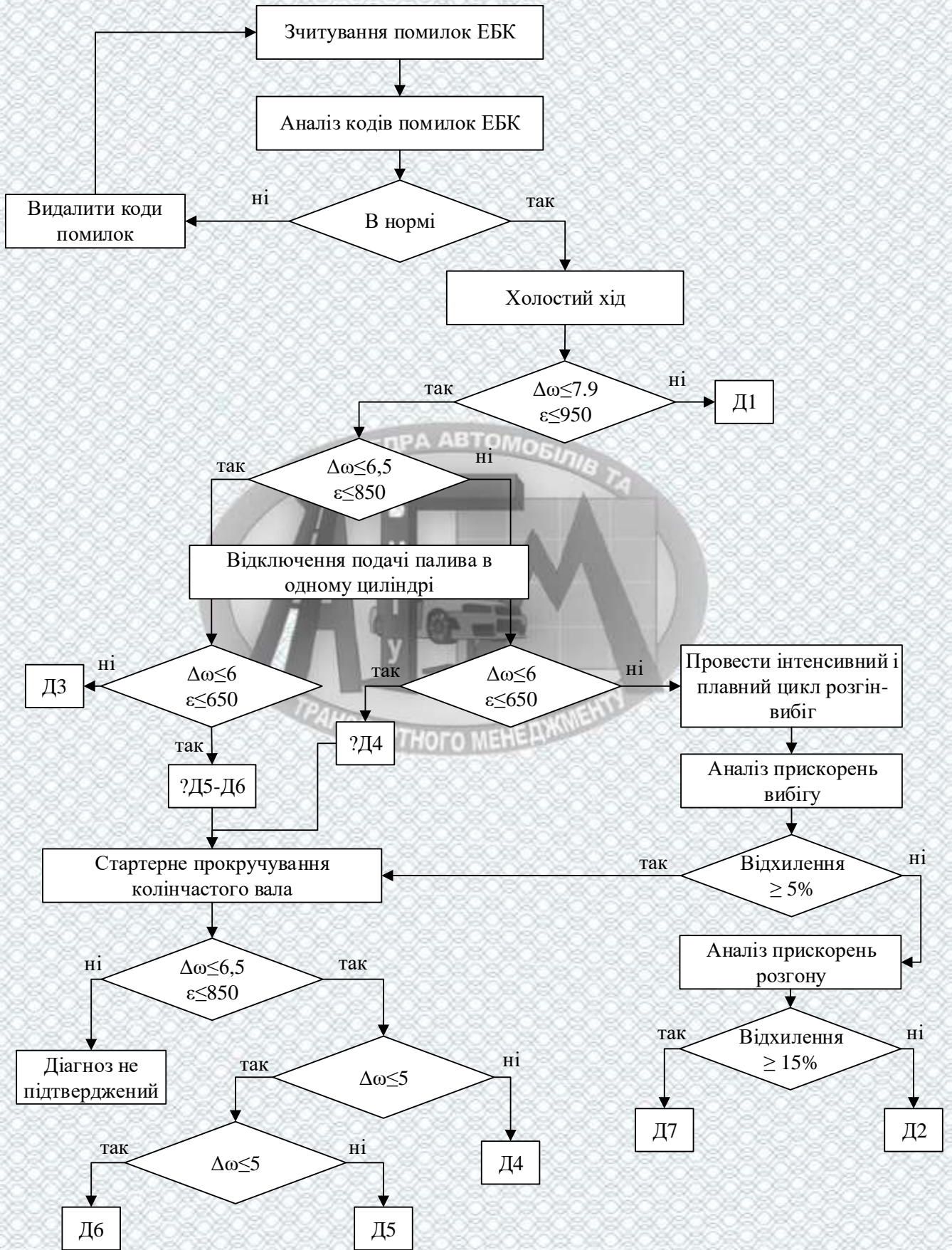


Рисунок 4.13 – Блок-схема алгоритму діагностування системи живлення Common Rail і дизельного двигуна динамічним методом

Поєднання параметрів технічного стану формують сукупності діагнозів Д1... Д6. Причому для діагнозу Д5 визначальною ознакою є саме зниження герметичності циліндра, в разі діагнозу Д6 вплив циклової подачі незначний. Поєднання діагнозів Д1 і Д7 дозволяє виявити несправність електрогідравлічних форсунок (в першу чергу, пов'язану з підвищеними витокami на злив).

#### 4.4 Визначення ефективності удосконаленої системи діагностування систем живлення Common Rail

Визначення технічного стану системи живлення Common Rail за удосконаленими методиками безпосередньо на автомобілі дозволяють значно скоротити приведені витрати на діагностування за рахунок скорочення числа розбірно-складальних операцій і елементів, обов'язкових до заміни; оперативна тривалість діагностування в порівнянні зі стендовими методами знижена в 11,4 рази і становить в середньому 0,28 години або 16,8 хв. Удосконалені алгоритми не замінюють методи діагностики за допомогою сканерів, в тому числі дилерського рівня, але органічно доповнюють арсенал технічних засобів, що дозволяють підвищити ефективність експлуатації автотранспортних засобів.

Розрахунок економічної ефективності виконаємо на прикладі вантажних автомобілів з двигуном Cummins 6ISLe. Математичне очікування настання відмови для такого типу автомобілів 70 тис. км пробігу. Періодичність виконання ТО-1 - 10000 км, а ТО-2 - 30000 км.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності експлуатації автомобіля наведені в табл. 4.2.

Річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$E = \left( 3_1 \frac{Q_2 P_1 + E_H}{Q_1 P_2 + E_H} + \frac{(U'_1 - U'_2) - E_H (K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_H} - 3_2 \right) N_2, \quad (4.1)$$

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показник	Позначення	Од.вим.	Значення показника
1. Пробіг до ремонту	$L_p$	тис. км	70
2. Загальний річний пробіг	$L_r$	тис. км	100
3. Вартість нормогодини	$C_n$	грн	350
4.Трудомісткість ПР	$t_{пр}$	люд.- год.	4,2
5. Трудомісткість Д	$t_d$	люд.- год.	1,4
6. Кількість ПР	$n_{пр}$		2
7. Кількість Д	$n_d$		5
8. Вартість ПР і Д	$C_{пр}$	грн	622,9
9. Вартість запчастин	$C_{зч}$	грн	20160
10. Балансова вартість діагностичного комплексу	$B_1$	грн	13600
11. Коефіцієнт використання обладнання	$K_{и}$		0,8
12. Кількість діагностів	$n$	люд.	1
13. Годинна тарифна ставка	$C_r$	грн	91
14. Коефіцієнт відрахувань на обслуговування обладнання	$K_{тр}$		0,05
15. Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	$K_a$		0,108
16. Середній строк служби обладнання	$T_{сл}$	років	6
17. Коефіцієнт реновації	$K_p$		0,1296
18. Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	$E_n$		0,15
19. Коефіцієнт накладних витрат	$K_{нр}$		1,89

де  $Z_1$  і  $Z_2$  – приведені витрати в сфері виробництва, що припадають на одне базове і нове діагностування, грн;

$Q_1$  і  $Q_2$  - річні обсяги робіт, що виконуються при використанні базової і нової методик;

$P_1$  і  $P_2$  - частки відрахувань від балансової вартості на повне відновлення (реновацію) базового і нового обладнання;

$U'_1$  і  $U'_2$  - річні експлуатаційні витрати споживача (без урахування амортизації на реновацію) при використанні базової і нової методик, грн;

$K'_1$  і  $K'_2$  - супутні капітальні вкладення споживача в сфері експлуатації (без урахування вартості використовуваного обладнання), грн;

$N_2$  - річний обсяг виробництва за новою методикою за рік.

Приведені витрати  $Z_i$  визначаємо за формулою:

$$Z = C + E_n K_i, \quad (4.2)$$

де  $C$  – витрати на впровадження розробок, грн;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень в нове обладнання;

$K_i$  - капітальні вкладення на нове обладнання.

Річні експлуатаційні витрати визначимо за формулою:

$$U'_i = C_{зп} + C_{тр} + C_e + C_{нр}, \quad (4.3)$$

де  $C_{зп}$  - річні витрати на заробітну плату діагностів з відрахуваннями, грн;

$C_{тр}$  - витрати на ремонт та утримання діагностичного обладнання, грн;

$C_e$  - витрати на електроенергію, грн;

$C_{нр}$  - інші накладні витрати, грн.

Річні витрати на заробітну плату діагноста разом з нарахуваннями:

$$C_{зп} = Q_i T_i C_d K_{доп}, \quad (4.4)$$

де  $T_i$  - тривалість діагностування системи живлення одного автомобіля, год.;

$C_d$  - годинна ставка оператора-діагноста, грн;

$K_{доп}$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на фонд заробітної плати.

Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування діагностичного обладнання:

$$C_{\text{тр}} = \frac{B_1 K_{\text{тр}}}{100}, \quad (4.5)$$

де  $K_{\text{тр}}$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на поточний ремонт і обслуговування діагностичного обладнання.

Витрати на електроенергію:

$$C_e = g T_e Q_i, \quad (4.6)$$

де  $g$  - витрата електроенергії на діагностування одного автомобіля;

$T_e$  – тариф на електроенергію.

Інші накладні витрати:

$$C_{\text{нр}} = \frac{C_{\text{зп}} K_{\text{доп}}}{K_{\text{нр}}}, \quad (4.7)$$

де  $K_{\text{нр}}$  - коефіцієнт, що враховує інші накладні витрати.

Супутні капітальні витрати

$$K'_1 = \frac{B_1}{T_{\text{сл}}}, \quad (4.8)$$

де  $T_{\text{сл}}$  - середній термін служби обладнання.

Загальні витрати на проведення ремонтно-профілактичних впливів, діагностувань і запасні частини визначимо за формулою:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{ров}} + C_{\text{зч}} \quad (4.9)$$

Далі за формулами (4.1-4.9) з урахуванням вихідних даних (табл. 4.2) та середніх ринкових вартостей запчастин розрахуємо економічний ефект впровадження розробок з розрахунку на 1 автомобіль. Результати розрахунку наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку економічного ефекту

Елемент витрат	Позначення	Обсяг витрат, грн
1. Заробітна плата з нарахуваннями	$C_{зп}$	622,9
2. Амортизаційні відрахування	$C_a$	2455,2
3. Витрати на поточний ремонт та утримання обладнання	$C_{тр}$	682
4. Супутні капітальні витрати	$K$	2633,3
5. Інші накладні витрати	$C_{нр}$	905,6
6. Витрати на запасні частини	$C_{заг}$	20782,9
7. Річні експлуатаційні витрати	$U_i$	23961,8
Річний економічний ефект	$E$	9324,6

Таким чином, економічний ефект, з розрахунку на 1 автомобіль, складе 9324,6 грн.

#### 4.5 Висновки

1. В процесі аналізу відмов встановлено, що найбільшу частоту відмов мають електрогідравлічні форсунки (понад 60% всіх несправностей). Найбільш істотний вплив на зниження ресурсу елементів системи живлення Common Rail, і перш за все форсунок, чинить наявність води і абразивних забруднень в паливі.

2. Відповідно до аналізу потоку відмов, систем бортової діагностики, та з урахуванням викладки в підрозділі 2.1 вважаємо що Стратегія 3 щодо системи Common Rail буде найбільш ефективною.

3. На основі результатів дослідження зміни тиску в акумуляторі високого тиску була удосконалено алгоритм діагностування системи живлення Common Rail за параметрами зміни тиску палива в акумуляторі.

3. На основі результатів дослідження зміни частоти і прискорення колінчастого валу на різних режимах була удосконалено алгоритм діагностування системи живлення Common Rail динамічним методом.

4. Річний економічний ефект від удосконалення методики діагностування системи живлення Common Rail складе 9324,6 грн з розрахунку на 1 автомобіль.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Аналіз умов праці

Автосервісне підприємство «Bosch дизель центр «Алекс Дизель» спеціалізується на роботах по ремонту дизельної паливної апаратури. Розглянемо небезпечні фактори, які можуть мати місце в виробничих приміщеннях підприємства.

До фізичних факторів відносять:

- випари палива;
- шум при роботі вентиляції;
- вібрація при роботі обладнання.

До психологічних факторів відносять:

- монотонність рухів;
- перенапруга аналізаторів.

Перелік небезпечних виробничих факторів:

- ураження електричним струмом;
- падіння інструментів та агрегатів;
- фізичне ураження;
- падіння людей на забруднену підлогу.

### 5.2 Виробнича санітарія

#### 5.2.1 Мікроклімат

Отримані і допустимі параметри метеоумов для робочої зони виробничих приміщень з урахуванням теплонадлишків, важкості виконання робіт і періодів року встановлені в ГОСТ 12.1.005-88. Загальна характеристика метеоумов дільниці наведено в табл. 5.1.



Таблиця 5.1 - Допустимі норми температури відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні ремонту приладів системи живлення

Період року	Категорія робіт	Температура повітря		Відносна вологість %		Швидкість руху повітря, м/с		Температура повітря зовні °С	
		діюче	норм.	діюче	норм.	діюче	норм.	діюче	норм.
Тепл.	П б	25-28	28	68-70	70	0,52-0,63	0,5-0,7	18-25	28
Хол.	П б	18-20	5-21	62-75	75	0,38	0,4	5-18	13-24

Теплове опромінення на працюючих незначне, що не перевищує нормативного значення  $100 \text{ Вт/м}^2$  при опроміненні не більше, ніж 25% поверхні тіла. До роботи з агрегатами та вузлами приступають, коли температура їх менша за  $45^\circ\text{C}$ . Температура в виробничих приміщеннях коливається в межах  $5^\circ\text{C}$ . Це підтримується взимку – опаленням та вентиляцією в будь-яку пору року.

Шкідливі речовини, які найбільш часто зустрічаються, їх гранично допустима концентрація та порівняння з діючими значеннями наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Шкідливі речовини

№ п/п	Назва речовини	ГДК $\text{мг/м}^2$	Діюче значення, $\text{мг/м}^2$	Клас небезпеки
1	Дизельне паливо	100	84,3	4
2	Гас	300	266	4
4	Оксид вуглецю $\text{CO}_2$	20	16,7	4
5	Сажа	4	2,8	3

Діючі значення концентрацій шкідливих речовин в повітрі робочої зони не перевищують ГДК.

В приміщенні дільниці передбачено систему опалення, вентиляції, внутрішнього водопроводу, гарячого постачання, каналізації і повітрязабезпечення.

Система опалення виконується виходячи з умови забезпечення температури повітря у приміщеннях в холодний і перехідний період року на рівні  $+16^{\circ}\text{C}$ .

Опалення індивідуальне з місцевими нагрівальними радіаторами, а в якості теплоносія застосовується гаряча вода від власної котельні. Температура нагрівачів  $45-75^{\circ}\text{C}$ .

Нагрівальні прилади системи опалення встановлюються біля зовнішніх огорожуючих конструкцій під світловими пройомами.

Для забезпечення нормованих параметрів повітряного середовища, виконується проточно-витяжна вентиляція з механічним та природнім сполученням. Повітрообмін визначається кількістю повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, які встановлені біля технологічного обладнання, яке виділяє шкідливі речовини, а також на виробничих постах.

Місцеві відсмоктувачі обслуговують таке технологічне обладнання:

- ванни для миття деталей,
- стенди для перевірки та регулювання дизельної апаратури,
- також для відведення відпрацьованих газів.

Швидкість руху повітря в отворах місцевих відсмоктувачів має бути не менше 1 м/с. Витяжна індивідуальна незалежна від інших вентиляційних систем.

Із верхньої зони приміщення передбачається природна витяжка в об'ємі не менше одноразового повітрообміну в 2 год.

### 5.2.2 Освітлення

Кількісні і якісні характеристики освітлення регламентовані СНиП II-4-79 "Природне і штучне освітлення. Норми проектування". Природне освітлення забезпечується подвійними вікнами.

Розряд зорової роботи – Па, так як має місце робота з прецензійними

деталіями.

Коефіцієнт природного освітлення визначається за формулою:

$$e^{IV} = e_n^{III} \cdot m \cdot c_k, \quad (5.1)$$

де  $e_n^{III}$  - нормоване значення коефіцієнту природного освітлення;

$m$  - коефіцієнт світлового клімату.

$c_k$  - коефіцієнт сонячності клімату.

Для 50° Пн. ш при світлових променях орієнтованих на захід

$$e = 1 * 0.9 * 0.75 = 0.675\%.$$

Природне освітлення в приміщеннях повинно задовольняти вимогам, наведеним в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Норми освітленості приміщень і виробничих ділянок

Приміщення	Площа нормування освітленості та її висота від підлоги	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк при загальному освітленні	
			Нормоване	діюче
Ремонт паливної апаратури	Горизонтальна 0,8	Па	300(750)	350(800)

В виробничих приміщеннях використовується загальне та місцеве штучне освітлення. Загальне освітлення складається з рівномірно розмішених пристелевих світильників. В якості місцевого освітлення робочих місць використовуються світильники з лампами накали.

Аналіз приміщень підприємства показав відповідність діючим вимогам.

### 5.2.3 Шум

В робочій зоні ремонту паливної апаратури має місце непостійний шум, що

викликається роботою обладнання та інструменту, що застосовується.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку в дБ(А) на робочих місцях згідно ДСН 3.3.6.037-99 наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Приміщення дільниці	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами									Рівні звуку дБ(А)	
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	норм	діюче
Постійні робочі місця	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	71

В якості захисту від вібрації на дільниці застосовують:

1. засоби віброізоляції (віброізоляційні опори, пружні прокладки);
2. засоби демфування (пісок, гума, спеціальні пластини віколіт-шар поглинаючого матеріалу наносять на вібруючу поверхню).

#### 5.2.4 Вібрації

При роботі з технологічним обладнанням дільниці виникає мінімальний рівень вібрацій, передбачений для даного виду обладнання: недіючий шкідливо на організм людини. Санітарні норми показників вібраційного навантаження на оператора при тривалості зміни 8 год. відповідно до ДСН 3.3.6.039-99 наведені в табл. 5.5

Таблиця 5.5 – Вібраційні навантаження на оператора

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Нормативні кореговані по частоті та еквівалентні кореговані значення			
			віброприскорення		віброшвидкість	
			$A_n$ , м/с	$L_{АН}$ , дБ	$V_n$ , $10^{-2}$ , м/с	$L_{Vn}$ , дБ
Локальні	-	$X_l, Y_l, Z_l$	2,0	126	2,0	112
Загальні	3 а	$X_o, Y_o, Z_o$	0,1	100	0,2	92

В якості захисту від вібрації на ділянці застосовують:

1. засоби віброізоляції (віброізоляційні опори, пружні прокладки);
2. засоби демфування (пісок, гума, спеціальні пластини віколіт-шар поглинаючого матеріалу наносять на віброуючу поверхню).

### 5.3 Техніка безпеки

Ділянку розташовують подалі від пожежно- та вибухонебезпечних виробництв. На ділянці забороняється паління та застосування відкритого вогню, саморобних нагрівальних пристроїв. Джерела освітлення, проводка та силові двигуни мають бути надійно ізольовані. Допускається живлення магнітних пускачів та кнопок управління стендами при напрузі до 220 В при дотриманні вимог і має бути пристрій механічного і електричного блокування магнітних пускників, заземлення апаратури. Забороняється експлуатація несправного обладнання, технологічного інструменту.

Робітники мають забезпечуватись справними інструментами та пристроями, що відповідають вимогам безпеки. Перед початком роботи необхідно перевірити весь інструмент, несправний замінити.

Відходи виробництва, відпрацьовані матеріали тощо після кожної зміни прибираються з робочого місця.

Для миття та знежирення повинні застосовуватись негорючі суміші, пасти, розчинники та емульсії, а також ультразвукові та інші безпечні в пожежному відношенні установки.

На робочому місці має бути таблиця із зазначенням складу, концентрації та температури миючого розчину.

Концентрація лугових розчинів повинна бути не більше 2...5%. Після миття луговими розчинами обов'язкове промивання теплою водою.

Миючі ванни з гасом після завершення миючих робіт слід закривати.

На кожному робочому місці біля верстата на підлозі повинні бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони та шириною не менше 0,6 м від частин

верстата.

Перед початком роботи на стендах необхідно перевірити справність та наявність усіх огорожень та пристроїв, надійність закріплення обертових частин, а також випробувати стенд.

При залишенні робочого місця (навіть короткочасно) стенди необхідно вимкнути.

Для захисту органів дихання від шкідливих аерозолів використовуються респіратори ПБ-І "Лепесток" одноразового використання.

Для захисту рук від впливу палива та інших нафтопродуктів передбачаються маслобензостійкі рукавиці /ТУ-38, 106346-79/. Видається паста ЦЄР-2 /ФСЧ2-95-72/ та силіконовий крем, крем "Захисний" /ТУ-47-7-ПК173/.

Робітники дільниці, які отримують засоби індивідуального захисту, проходять спеціальний інструктаж по правилам використання та перевірки справності засобів індивідуального захисту.

Для попередження травм від електроприладів та електропроводки всі корпуси електродвигунів заземляються.

### 5.3.1 Електробезпека

Приміщення відноситься до 2 класу приміщень з особливою небезпекою. Там одночасно є такі небезпечні фактори;

- наявність струмопровідної підлоги;
- можливість одночасного дотику до металевих частин конструкції і

обладнання.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом передбачено:

1. Занулення всіх неструмових частин обладнання;
2. Встановлення захисного вимикання;
3. Ізоляція та прокладка всіх електрокабелів в металевих трубах

Робітники, вік яких перевищує 18 років, здають один раз в три місяці повторні інструктажі з електробезпеки.

Розрахунок занулення обладнання

Початкові дані:  $P_{нв}=20,75$  кВт,  $U_{н}=380$  В.

Схема розрахунку опору занулення показана на рис 5.1.

Вибір перерізу проводів

Визначимо розрахунковий струм:

$$I_{\phi} = P_{нв} / \sqrt{3} \cdot U_{н} = 20750 / \sqrt{3} \cdot 380 = 31,526 \text{ (A)} \quad (5.1)$$

де  $P_{нв}$  – номінальна потужність верстата, Вт;

$U_{н}$  – номінальна напруга живлення, В.

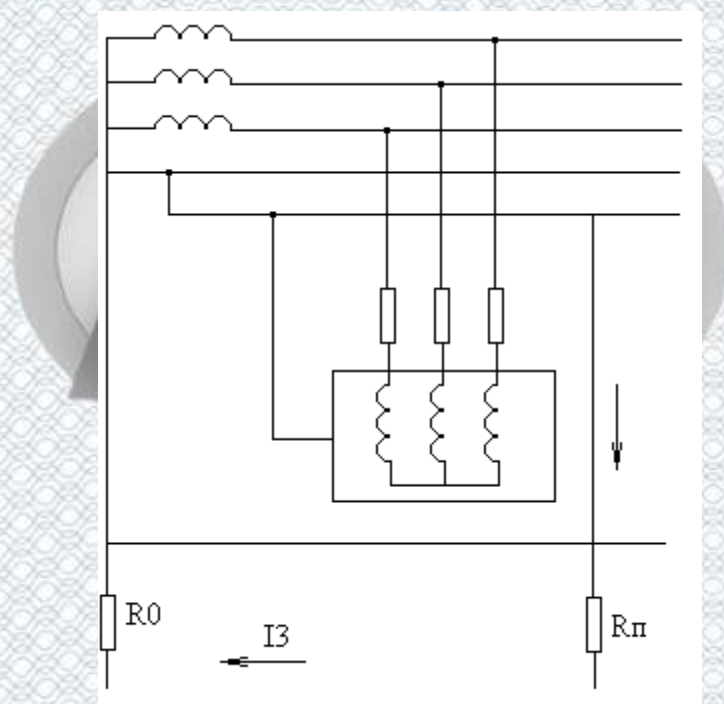


Рисунок 5.1 – Схема захисного занулення обладнання

Вибираємо 3 одножильних проводи перерізом  $S_{н} = 4$  мм<sup>2</sup>, проложених в одній трубі, для яких допустиме струмове навантаження складає 32 А.

Вибір струмового захисту (СЗ)

Вибираємо струмові захисні запобіжники. Визначаємо номінальний струм плавких вставок запобіжників (СЗ/1). Пусковий струм електродвигуна  $I_n/I_{н}=5,5$ :

$$I_n = 5,5 \cdot I_{н} = 5,5 \cdot 31,526 = 173,39 \text{ (A)}. \quad (5.2)$$

Номінальний струм плавкої вставки СЗ (1) при  $\alpha=2,5$ :

$$I_{n1} = I_n / 2,5 = 173,39 / 2,5 = 69,36 \text{ (А)}. \quad (5.3)$$

Розрахунок на відключаючу здатність

Вихідні дані:  $P_{но} = 22 \text{ кВА}$ ;  $l_1 = 200 \text{ м}$ ,  $l_2 = 6 \text{ м}$ .

Для живлення лінії 1 вибираємо масляний трансформатор потужністю  $P_T = 25 \text{ кВт}$  з первинною напругою 6-10 кВ, розрахований опір

$$Z_m / 3 = 0,302 \text{ (Ом)}. \quad (5.4)$$

Визначаємо робочий струм лінії 1 за формулою:

$$I_p = P_m / \sqrt{3} \cdot U_{л} = 25 \cdot 10^3 / 1,7 \cdot 380 = 38,03 \text{ (А)}. \quad (5.5)$$

Вибираємо чотирьохжильний алюмінієвий кабель. Перетином жили  $S_{1\phi} = 10 \text{ мм}^2$ , для якого допустиме струмове навантаження складає 45 А.

Визначимо значення активних опорів фазових проводів ліній 1 і 2 за формулою:

$$R_{\phi} = \rho_n (l_1 / S_{1\phi} + l_2 / S_{2\phi}) = 0,028 (200 / 10 + 6 / 4) = 0,266 \text{ (Ом)}. \quad (5.6)$$

Приймаємо значення індуктивного опору повітряної лінії  $X_1 = 0,6 \text{ Ом/км}$  і внутрішньої  $X_2 = 0,3 \text{ Ом/км}$ , тоді індуктивний опір петлі "фаза-нуль" буде

$$X_n = 2X_1 l_1 + 2X_2 l_1 = 2(0,6 \cdot 0,2) + 2(0,3 \cdot 0,006) = 0,24 \text{ (Ом)}. \quad (5.7)$$

Приймаємо перерізи нульових проводів для ліній 1 і 2:  $S_{n1} = 35 \text{ мм}^2$ ;  $S_{n2} = 2,5 \text{ мм}^2$ , виконаних з алюмінію. Значення активного опору нульових проводів:



$$R_n = \rho_l (l_1/S_n + l_2/S_n) = 0,028 (200/35 + 6/2,5) = 0,23 \text{ (Ом)}. \quad (5.8)$$

Знаходимо комплексний опір петлі “фаза-нуль”:

$$Z_H = \sqrt{(R_n + R_\phi)^2 + X_n^2} = \sqrt{(0,23 + 0,266)^2 + 0,24^2} = 0,55 \text{ (Ом)}. \quad (5.9)$$

Струм короткого замикання:

$$I_{кз} = U_\phi / (Z_m/3 + Z_n) = 220 / (0,302 + 0,55) = 258,22 \text{ (А)}. \quad (5.10)$$

Перевіримо виконання умови  $I_{кз} \geq KI_n$

$$I_{кз}/I_n = 258,22/75 = 3,4. \quad (5.11)$$

Умова виконується, так як  $3,4 > 3$ , що гарантує спрацювання захисту.

Визначення максимальної величини напруги дотику

Визначаємо комплексний опір нульового проводу, враховуючи, що індуктивний опір нульового проводу приблизно рівний половині індуктивного опору петлі “фаза-нуль”:

$$X_n = X_n/2 = 0,24/2 = 0,12 \text{ (Ом)} \quad (5.12)$$

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2} = \sqrt{0,23^2 + 0,12^2} = 0,259 \text{ (Ом)}. \quad (5.13)$$

Напруга дотику без урахування повітряного заземлення нульового проводу:

$$U_{ПР} = I_{кз} Z_n = 258,22 \cdot 0,259 = 66,879 \text{ (В)}. \quad (5.14)$$

Це значення перевищує гранично допустиме (36 В), тобто умова безпеки не виконується, а для дії її забезпечується необхідне повторне заземлення нульового дроту, опір якого повинен бути

$$R_n \leq 3 \cdot 6,4 / (66,879 - 36) = 4,66 \text{ (Ом)}.$$

Значення  $R_0=4$  Ом приймаємо, так як використовується мережа живлення напругою 380/220 В.

Розрахунок повторного заземлення нульового дроту  
Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi_3 = 30 \cdot 1,2 = 36 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}, \quad (5.15)$$

де  $\rho_{\text{вим}} = 30$  Ом·м – значення вимірюваного питомого опору граніту;

$\Psi_3$  - кліматичний коефіцієнт.

В якості вертикальних електродів приймаємо сталевий пруток діаметром  $d = 14$  мм і довжиною  $l = 5$  м. Глибина закладання  $h = 0,8$  м. Заземлювачі розташовані в ряд. Визначимо величину  $t$ :

$$t = l/2 + h = 5/2 + 0,8 = 3,3 \text{ (м)} \quad (5.16)$$

Опір одиночно вертикального електрода:

$$R_e = 0,333 [36/5 (\lg 2 \cdot 5 / 0,014 + 0,5 \lg 4 \cdot 3,3 + 5 / (4 \cdot 3,3 - 5))] = 7,98 \text{ (Ом)}$$

Визначимо кількість вертикальних електродів:

$$n \eta_e = R_e / R_n = 7,98 / 4,66 = 1,71. \quad (5.17)$$

Знаходимо добуток  $n \eta_e$ , що близький од 1,71. при  $n = 2$ ,  $d/l = 2$ ,  $\eta_e = 0,91$ , а  $n \cdot \eta_e = 1,8$ .

В якості з'єднувальної приймаємо сталеву полосу перетином 48 мм<sup>2</sup>, при

товщині  $b = 4$  мм, тоді її довжина при розташуванні вертикальних електродів в ряд:

$$l_c = 1,05a(n-1) = 1,05 \cdot 10(2 - 1) = 10,5 \text{ (м)}. \quad (5.18)$$

Опір з'єднувальної полоси:

$$R_c = 0,366(36/10,5) \cdot \lg 2 \cdot 10^5 / 0,004 \cdot 3,3 = 5,299 \text{ (Ом)}.$$

Опір повторного заземлення нульового дроту:

$$R_n = 7,98 \cdot 5,299 / (7,98 \cdot 0,89 + 5,299 \cdot 2 \cdot 0,91) = 2,525 \text{ (Ом)};$$

$\eta_c = 0,89$  напруга дотику при  $R_n = 2,525$  Ом:

$$U_{np} = 258,22 \cdot 0,259(2,525 / (4 + 2,525)) = 25,88 \text{ (В)}.$$

$U_{np} \leq U_{ндy}$ ,  $25,88 < 36$  (В), тобто умова безпеки виконується.

#### 5.4 Пожежна безпека

Згідно з ОНТП 24-86 приміщення відноситься по пожежній безпеці до категорії "В", а по ступені вогнестійкості до II-ої категорії.

Передбачено один еваковихід для чого виконано ряд таких умов: відстань від найдалшого робочого місця не перевищує 25 м і число робітників в зміні не більше 50 чел. Виникнення пожежі можливе з таких умов:

- застосування відкритого вогню;
- порушення правил експлуатації електрообладнання;
- несправність опалювальних приладів;
- самозапалення промаслених обтирочних матеріалів;
- порушення правил пожежної безпеки при використанні горючих речовин

при мийних та ремонтних роботах;

- статичний і атмосферний струм;

Заходи щодо запобігання виникнення пожеж:

- постійний вільний доступ до пожежного інвентарю;
- виконання нормального режиму роботи електрообладнання;
- експлуатація виключно справного обладнання;
- оснащення ділянки пожежною сигналізацією;
- своєчасне видалення використаного обтирочного матеріалу;
- нагляд за функціонуванням вентиляційних всмоктувачів;
- розлиті речовини повинні негайно прибиратися;
- заборонено паління на робочих місцях;
- оснащення ділянки засобами пожежогасіння.

Норми первинних засобів пожежогасіння відповідно до НАПБ А.01.001-2014 наведені в таблиці 5.5

Таблиця 5.5 - Норми первинних засобів пожежогасіння

Приміщення	Площа	Назва та кількість пожежного обладнання та первинних засобів пожежогасіння	
Ремонту паливної апаратури	63м <sup>2</sup>	Порошковий вогнегасник ОП-5	Ящик з піском 0,5м <sup>3</sup>
		1	1

Показники вогнестійкості будівельних конструкцій наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Показники вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій, год. /мінімальні межі розповсюдження							
	Стіни				Колони	Плити і інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі	Само-несучі	Зовнішні	Внутрішні			плити	блоки
II	2/0	1/0	0.25/0	0.23/0	2/0	0.75/0	0.25/0	0.25/0

Таким чином пожежна безпека в виробничих приміщеннях забезпечена.

## **5.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **5.5.1 Евакуаційні заходи**

В умовах неповного забезпечення захисними спорудами в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, основним засобом захисту є евакуація населення і розміщення його в зонах, безпечних для проживання людей і тварин.

Евакуації підлягає населення, яке проживає в населених пунктах, розташованих у зонах можливого катастрофічного затоплення, можливого небезпечного радіоактивного забруднення, хімічного ураження, у районах виникнення стихійних лих, аварій і катастроф (якщо виникає безпосередня загроза життю і здоров'ю людей).

У залежності від обстановки, що склалася під час надзвичайної ситуації техногенного і природного характеру, може бути проведена загальна чи часткова евакуація населення тимчасового чи безповоротного характеру.

Загальна евакуація проводиться за рішенням Кабінету Міністрів України для всіх категорій населення і планується на випадок:

- можливого небезпечного радіоактивного забруднення території навколо атомних електростанцій (якщо виникає безпосередня загроза життю і здоров'ю людей, які проживають у зоні ураження);
- виникнення загрози катастрофічного затоплення місцевості з чотиригодинним доходженням проривної хвилі.

Часткова евакуація проводиться за рішенням Кабінету Міністрів України у випадку загрози чи виникнення надзвичайної ситуації техногенного і природного характеру.

Евакуаційні заходи здійснюються місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування.

При проведенні часткової евакуації завчасно вивозиться не зайняте у сферах виробництва й обслуговування населення: діти, учні навчальних закладів, вихованці дитячих будинків разом з викладачами і вихователями, студенти, пенсіонери й інваліди, які містяться в будинках для осіб похилого віку, разом з обслуговуючим персоналом і членами їх родин.

У сфері захисту населення і території від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру евакуація населення планується на випадок:

- аварій на атомній електростанції з можливим забрудненням території;
- усіх видів аварії з викидом сильнодіючих отруйних речовин;
- загроз катастрофічного затоплення місцевості;
- лісових і торф'яних пожеж, землетрусів, зсувів, інших геофізичних і гідрометеорологічних явищ з тяжкими наслідками, які загрожують населеним пунктам.

Проведення організованої евакуації. Запобігання проявів паніки і недопущення загибелі людей забезпечується шляхом:

- планування евакуації населення;
- визначення зон, придатних для розміщення евакуйованих з потенційно небезпечних зон;
- організації оповіщення керівником підприємств і населення про початок евакуації;
- організації управління евакуацією;
- усебічного життєзабезпечення в місцях безпечного розселення евакуйованого населення;
- навчання населення діям при проведенні евакуації.

Евакуація населення здійснюється способом, який передбачає вивезення основної частини населення із зон надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру усіма видами наявного транспорту, а у випадку його відсутності чи недостачі (а також к випадку руйнування транспортних шляхів) – організоване виведення населення пішки заздалегідь розробленими маршрутами.

### 5.5.2 Розрахунок транспортного забезпечення проведення евакуаційних заходів

Згідно завдання необхідно розрахувати транспортне забезпечення евакуації населення з невеликого містечка в безпечну зону.

Початкові дані для розрахунку:

- кількість людей, що підлягають евакуації: 15000 чол.;
- пропускна здатність транспортного коридору 60 авто/год в обидва напрямки;
- відстань від містечка до пункту прийому евакуйованих 120 км;
- середня швидкість руху автобусів на маршруті 70 км/год;
- для перевезення використовуються автобуси марки "Богдан" пасажиромісткістю 28 чол.

Розрахунок загальної тривалості евакуації та необхідної кількості транспортних засобів проведемо за умови повного забезпечення транспортними засобами та максимального завантаження транспортного коридору.

За вихідними умовами можемо зробити висновок, що протягом години в одному напрямку з населеного пункту необхідно відправляти

$$A_{\text{відпр.год}} = 60 \div 2 = 30 \text{ автобусів.}$$

Максимально швидка посадка пасажирів з ручною поклажею в автобус триває  $t_{\text{пос}} = 10$  хвилин, тому з одного пункту посадки протягом години можливе відправлення

$$A_{\text{відпр.пункт}} = 60 \div 10 = 6 \text{ автобусів.}$$

З врахуванням пропускної здатності коридору та частоти відправлення автобусів розрахуємо необхідну кількість пунктів посадки пасажирів

$$n = A_{\text{відпр.год}} \div A_{\text{відпр.пункт}} = 30 \div 6 \approx 5 \text{ пунктів.}$$

Тривалість поїздки в один кінець маршруту

$$t_{\text{прям}} = t_{\text{звор}} = 120 \div 70 = 1,7 \text{ год.} = 1 \text{ год. } 42 \text{ хв,}$$

де  $t_{\text{прям}}$ ,  $t_{\text{звор}}$  – тривалості руху в прямому і зворотному напрямках.

Загальна тривалість однієї поїздки автобуса в обидва напрямки

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{прям}} + t_{\text{звор}} + t_{\text{пос}} + t_{\text{вис}} = 2 \times 1 \text{ год. } 42 \text{ хв.} + 10 \text{ хв.} + 10 \text{ хв.} = 3 \text{ год. } 44 \text{ хв.} = 3,73 \text{ год.,}$$

де  $t_{\text{вис}}$  – тривалість висадки пасажирів в кінцевому пункті.

За годину з населеного пункту можна вивезти

$$N_{\text{год}} = n \times A_{\text{відпр.пункт}} \times 25 = 5 \times 6 \times 28 = 840 \text{ чол/год.}$$

Мінімально необхідна кількість автобусів для проведення безперервної евакуації

$$A_{\text{заг}} = t_{\text{заг}} \times A_{\text{відпр.год}} = 3,73 \times 30 \approx 112 \text{ автобусів.}$$

Загальна тривалість вивезення людей з населеного пункту в заданих умовах

$$T_{\text{вивез}} = 15000 \div 840 = 17,85 \text{ год.} = 17 \text{ год. } 51 \text{ хв.}$$

Повна евакуація триватиме

$$T_{\text{евак}} = T_{\text{вивез}} + t_{\text{прям}} + t_{\text{вис}} = 17 \text{ год. } 51 \text{ хв.} + 1 \text{ год. } 42 \text{ хв.} + 10 \text{ хв.} = 19 \text{ год. } 43 \text{ хв.}$$

За результатами розрахунку можна зробити такі висновки:



1. Для безперервної евакуації населення з населеного пункту необхідно забезпечити наявність 112 автобусів заданої місткості та облаштувати 5 пунктів посадки пасажирів.

2. Повна евакуація людей з населеного пункту триватиме 19 год. 43 хв.

3. Зменшити загальну тривалість евакуації населення можна шляхом:

- збільшення транспортного коридору;
- забезпечення додаткових напрямків або створення проміжних пунктів евакуації;
- вибору менш віддалених кінцевих або проміжних пунктів евакуації;
- використання більш містких транспортних засобів або збільшення посадочних місць в наявному транспорті встановленням додаткових сидінь тощо;
- підвищення середньої швидкості руху автобусів.

Висновки: Таким чином виробничі приміщення сервісного центру «Алекс Дизель» відповідає всім вимогам охорони праці. Розроблені заходи евакуації дозволяють захистити людей у випадку надзвичайної ситуації.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання даної магістерської кваліфікаційної роботи було вирішено науково-практичне завдання по удосконаленню діагностування системи живлення Common Rail.

1. Аналіз існуючих методів і засобів діагностування показав, що не всі вони достатньо досконалі і універсальні, або важко реалізуємі в експлуатаційних умовах. Враховуючи розвиток конструкцій автомобілів набуває необхідність вирішення проблеми адаптації існуючих методів діагностування системи живлення Common Rail до умов експлуатації.

2. Аналіз маркетингового середовища, показників роботи та структури і стану ВТБ СТО «Bosch дизель центр «Алекс Дизель», показав наявність досить непогано організаційно-виробнича структури. Велика завантаженість обладнання і ремонтних робітників потребує удосконалення технологічних процесів діагностування.

3. На основі вивчення робочих процесів в системі живлення Common Rail була сформована узагальнена математична модель, яка описує процеси функціонування даної системи.

4. На основі математичної моделі системи живлення Common Rail було обґрунтовано методи її діагностування, а саме метод по пусковому струму (напрузі), метод вимірювання кутових прискорень при відключенні циліндрів, витрати палива з електрогідравлічних форсунок на зливну магістраль, вимірювання осцилограм тисків в системі та ін.

5. В третьому розділі розрахована ВТБ СТО «Bosch дизель центр «Алекс Дизель». Розрахунки показали, що існуюча ВТБ в цілому відповідає потребам СТО. Було визначено перелік основного технологічного обладнання підприємства. Так як діагностування системи живлення Common Rail виконується на автомобілі, було розроблено організаційно-планувальне рішення зони ТО і ПР.

6. На основі результатів дослідження зміни тиску в акумуляторі високого тиску, частоти і прискорення колінчастого валу на різних режимах діагностування

було удосконалено алгоритм діагностування системи живлення Common Rail за параметрами зміни тиску палива в акумуляторі та алгоритм діагностування системи живлення Common Rail динамічним методом.

7. Річний економічний ефект від удосконалення методики діагностування системи живлення Common Rail складе 9324,6 грн з розрахунку на 1 автомобіль.

8. В п'ятому розділі вивчено питанням з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, в якому було проведено аналіз небезпечних для людини та навколишнього середовища факторів, безпосередньо пов'язаних з виробничим процесом на підприємстві.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобильный справочник. Пер. с англ. ООО «СтарСПб» - 3-е изд., перераб. И доп. М.: ООО Книжное издательство «За рулем», 2012. 1280с.
2. Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Информационное обеспечение экспертизы состояния двигателей. / Под ред. д.т.н. В.В. Альта. – РАСХН. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 2001. 223 с.
3. Ананьин А.Д., Михлин В.М., Габитов И.И., Неговора А.В. Диагностика и техническое обслуживание машин / Москва : Академия, 2008. 428 с.: ил.
4. Борщенко Я.А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала. Дисс....канд. техн. наук. –Тюмень, 2003. 163 с.
5. Валиев А.Р. Повышение эффективности ремонта электрогидравлических форсунок аккумуляторных топливных систем автотракторных дизелей. 05.20.03. Дисс. ...канд. техн. наук. Уфа: 2012. 163 с.
6. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною : НАПБ Б.03.002-2007. Київ : ДЕРЖПОЖБЕЗПЕКИ МНС УКРАЇНИ, 2007.
7. Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту. Навчальний посібник / В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, С.О. Романюк, Є.В. Смирнов. – Вінниця, ВНТУ, 2013. – режим доступу : <http://posibnyky.vntu.edu.ua/newauto/5/index.html>.
8. Врублевский А.Н. Метод многокритериальной идентификации математической модели топливной системы // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов – Х., 2009. – Вып 23. – С. 95–99.
9. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей. учебное пособие. М: «Легион-Автодата», 2008. 240 с.
10. Говорущенко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей. М.: Транспорт, 1970. 256 с.

11. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. М.: Легион-Автодата, 2003. 176 с.
12. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. М.: Легион-Автодата, 2005. 344 с.
13. Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Ч.1: Принципы построения диагностических моделей переходных. Метод. рекомендации / Разраб. И.П. Добролюбов, В.М. Лившиц.- ВАСХНИЛ, Сиб. отделение. – Новосибирск. В 3-х томах.
14. Добролюбов И.П. Контроль на переходных режимах распределения мощности двигателей внутреннего сгорания по цилиндрам без их отключения. Автореферат дисс. ...канд. техн. наук. Новосибирск, 1983. 24 с.
15. Ждановский Н.С., Аллилуев В.А., Николаенко А.В., Улитовский Б.А. Диагностика автотракторных двигателей. Л.: 1977. –264 с.
16. Змановский В.А., Натарзан В.М., Махоткин О.А. Исследование индикаторной мощности двигателя как многофакторной зависимости от параметров технического состояния. // Вопросы диагностики и обслуживания машин. Тр. СибВИМ. Под ред. Б.В. Павлова. Новосибирск, 1968. с. 200-210.
17. Змановский В. А. Исследование параметров выбега в зависимости от неплотностей цилиндропоршневой группы на примере двигателя Д50 // Система машин и техническое обслуживание машинотракторного парка в Западной Сибири: Сб. науч. тр.- Вып. 10.- 4 т. Новосибирск: СибИМЭ, 1974. С. 23-33.
18. Козеев А.А. Повышение эффективности диагностирования инжекторов автотракторных и комбайновых двигателей. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н.. Уфа, 2010. 109 с.
19. Коньков А.Ю. Диагностирование технического состояние дизеля в эксплуатации на основе быстропротекающих рабочих процессов. 05.04.02. Дисс. ...д-ра. техн. наук. Хабаровск: 2010. 414 с.
20. Кривцов С.Н. повышение информативности диагностирования технического состояния цилиндров дизельного двигателя в режиме холостого хода

// Вестник Иркутского государственного технического университета, №11 (106), 2015. С. 100-106.

21. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 2-е изд. М.: Транспорт, 1983. 488 с, ил., табл.

22. Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М.: Транспорт, 1977. 263 с.

23. Мылов А.А. Разработка метода оценки технического состояния плунжерных пар дизельной топливной аппаратуры при ремонте. Дисс....канд. техн. наук. М.: 2005, 132 с.

24. Напольский Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. [Учебник для вузов]. М. Транспорт, 1985. 231с.

25. Нигматуллин Ш.Ф., Габдрахимов М.М., Валиев М.М. Диагностирование насоса топливной системы типа Common Rail на основе параметрической идентификации колебаний давления в аккумуляторе // Вестник БГАУ / Vestnik BSAU, 2011, № 4. с. 64-66.

26. Никитин Е.А., Станиславский Л.В., Улановский Э.А. Диагностирование дизелей. –М.: Машиностроение, 1987 –224 с.

27. Озорнин С.П. Повышение работоспособности парков мобильных машин в структурах агропромышленного комплекса на основе ситуационнокомбинированного обслуживания и ремонта Автореферат дисс. ...докт. техн. наук. Чита, 2004. 46 с.

28. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта : ОНТП-01-91 (РД 3107938-0176-91). [Действителен от 1992-01-01]. – М. : Гипроавтотранс, 1991. 184с.

29. Олійник В. В., Смирнов Є.В. методи діагностування системи живлення Common Rail // Регіональна науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців Молодь в науці: дослідження, проблеми,

перспективи – 2020. – Вінниця, ВНТУ, 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/schedConf/presentations>

30. Ольшевский С.Н. Комплексный контроль технического состояния ДВС по параметрам переходных режимов. Дисс....канд. техн. наук. –Новосибирск: 2005, 142 с.

31. Попык В.Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей. М.: «Высшая школа», 1970. 328 с.

32. Правила охорони праці на автомобільному транспорті : ДНАОП 0.00-1.28-97. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997.

33. Предприятия по обслуживанию автомобилей : ВСН 01-89. [Действителен от 1990-01-12]. М. : ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1989. 27 с.

34. Райков И.Я. Испытание двигателей внутреннего сгорания. М.: Высш. шк., 1975. 72 с.

35. Рокош У. Бортовая диагностика. Пер. с нем. М.: ООО «Издательство «За Рулем»», 2013. 224 с.

36. Системы управления дизельными двигателями. Пер с нем. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. 480 с.

37. Терских И.П. Функциональная диагностика машинно-тракторных агрегатов. Иркутск: Изд-во ИГУ. 312 с.

38. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Под ред. Г.В.Крамаренко. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983 – 488с., ил., табл.

39. Тихомиров М.В. Комплекс алгоритмов для управления и диагностики дизеля. Диссертация на соискание ученой степени канд техн. наук. 05.04.02. Ярославль, 2015. 204 с.

40. Hubertus Günther. Diesel Diagnose. Vogel und Druck GmbH & Co, KG, Würzburg. 2003. 176 pp.

41. Paul Dempsey Troubleshooting and Repairing Diesel Engines. McGraw Hill, 2008. 408 pp.

