

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД  
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ  
РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

**КОЖАНОВ АНДРІЙ ЮРІЙОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ  
АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ ДИЗЕЛЬНИХ  
ДВИГУНІВ**

**Кваліфікаційна робота  
за спеціальністю 015.38 «Професійна освіта»  
освітньо-професійна програма «Транспорт»**

Особистий підпис – \_\_\_\_\_ Кожанов А. Ю.

Науковий керівник – \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент О. О. Ревякіна  
(підпис) (посада, науковий ступінь,  
наукове звання, ініціали, прізвище)

Зав. кафедри – \_\_\_\_\_ к.п.н., доцент, В. В. Бурдун  
(підпис) (посада, науковий ступінь,  
наукове звання, ініціали, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД  
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ  
РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

Затверджую:

Декан факультету технологій та  
інформаційних систем

 Могильний Г.А.

**Індивідуальний план здобувача вищої освіти  
щодо виконання кваліфікаційної роботи**

1. Кожанов Андрій Юрійович  
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)
2. Факультет технологій та інформаційних систем
3. Спеціальність «Професійна освіта. Транспорт»
4. Кафедра професійної освіти ресторанного і туристичного бізнесу
5. Науковий керівник Ревякіна Ольга Олександрівна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
6. Тема кваліфікаційної роботи  
Технологія ремонту та технічного обслуговування акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів
7. Термін подання роботи на кафедру 08.05.2026 р.

| <i>№</i> | <i>Заходи</i>                                                                                   | <i>Термін виконання</i> | <i>Відмітка про виконання</i>                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.       | Вибір теми кваліфікаційної роботи, вивчення наукової літератури, затвердження теми й керівника. | 10.10.2025              |  |
| 2.       | Розробка плану роботи, визначення мети, завдань, об'єкту, предмету, методів дослідження.        | 14.11.2025              |  |
| 3.       | Робота над теоретичною частиною кваліфікаційної роботи, аналіз літературних джерел.             | 05.12.2025              |  |

|     |                                                                                                                                                                                               |            |                                                                                       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.  | Подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи для першого читання науковим керівником.                                                                                                   | 19.12.2025 |    |
| 5.  | Усунення зауважень, урахування рекомендацій наукового керівника, подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи на друге читання.                                                         | 16.01.2026 |    |
| 6.  | Розробка технологічної і конструкторської частин роботи. Поетапний аналіз та обговорення результатів дослідної роботи.                                                                        | 30.01.2026 |    |
| 7.  | Подання першого варіанта дослідної частини кваліфікаційної роботи на перевірку науковому керівникові.                                                                                         | 20.02.2026 |    |
| 8.  | Урахування рекомендацій наукового керівника, збагачення роботи додатковими дослідженнями, проведеними під час практики, підготовка варіанта роботи до попереднього захисту роботи на кафедрі. | 06.03.2026 |    |
| 9.  | Попередній захист роботи на кафедрі.                                                                                                                                                          | 20.03.2026 |    |
| 10. | Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням рекомендацій після попереднього захисту роботи на кафедрі.                                                                                 | 03.04.2026 |  |
| 11. | Подання кваліфікаційної роботи науковому керівникові та рецензентові на підготовку відгуку й рецензії.                                                                                        | 17.04.2026 |  |
| 12. | Подання на кафедру остаточного варіанта кваліфікаційної роботи, підписаного випускником, науковим керівником і рецензентом.                                                                   | 08.05.2026 |  |

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Кожанов А. Ю.  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи  \_\_\_\_\_ Ревякіна О. О.  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: «Технологія ремонту та технічного обслуговування акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів» виконана на 70 сторінках пояснювальної записки з використанням 20 літературних джерел.

У роботі розглянуто питання:

- охарактеризовано систему паливоподачі дизельного двигуна та її призначення;
- розглянуто принцип роботи акумуляторної паливної системи типу Common Rail та основних елементів системи;
- обґрунтовано технологічне обладнання, що використовується для ремонту та очищення форсунок;
- охарактеризовано сучасне діагностичне обладнання для перевірки технічного стану паливної апаратури.

Технологія ремонту та технічного обслуговування акумуляторних систем паливоподачі включає комплекс заходів, спрямованих на своєчасне виявлення несправностей, відновлення працездатності елементів та підтримання їх параметрів у межах нормативних значень. Це включає як планові перевірки та очищення, так і заміну зношених деталей, регулювання та контроль тиску та витрати палива.

Надійність і стабільність роботи цієї системи визначають ефективність всього двигуна, а будь-які відхилення у її роботі можуть призводити до зниження продуктивності, підвищеного зносу деталей і навіть до передчасних поломок.

**Ключові слова:** система Common Rail, паливна апаратура, діагностика несправностей, технічне обслуговування, ремонт паливної системи.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                 | 6  |
| РОЗДІЛ I ТЕОРЕТИЧНИЙ .....                                                                                                 | 7  |
| 1.1 Загальна характеристика системи паливоподачі дизельного двигуна .....                                                  | 7  |
| 1.2 Характеристики процесу впорскування палива .....                                                                       | 13 |
| 1.3 Несправності акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів<br>ознаки, причини та способи їх усунення .....     | 21 |
| Висновки до розділу I.....                                                                                                 | 24 |
| РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНИЙ.....                                                                                               | 25 |
| 2.1. Принцип роботи акумуляторної паливної системи Common Rail.....                                                        | 25 |
| 2.2. Діагностика паливної системи Common Rail з використанням сучасних<br>діагностичних приладів. ....                     | 29 |
| 2.3. Технічне обслуговування та очищення форсунок.....                                                                     | 37 |
| 2.4. Аналіз впливу роботи форсунок на показники роботи дизельного<br>двигуна.....                                          | 41 |
| Висновки до розділу II.....                                                                                                | 46 |
| РОЗДІЛ III РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ .....                                                                               | 47 |
| 3.1 Обладнання для діагностики та технічного обслуговування<br>акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів ..... | 47 |
| 3.2 Визначення рівня забруднення елемента паливного фільтра тонкого<br>очищення .....                                      | 51 |
| 3.3 Удосконалення систем енергоживлення шляхом застосування<br>акумуляторних технологій. ....                              | 55 |
| Висновки до розділу III .....                                                                                              | 59 |
| РОЗДІЛ IV ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                                               | 60 |
| 4.1 Безпека праці та підготування робочого місця під час ремонту системи<br>живлення автомобіля .....                      | 60 |
| 4.2 Захист навколишнього середовища та забезпечення пожежної безпеки.....                                                  | 63 |
| 4.3 Порядок дій при аварійних ситуаціях та перша допомога.....                                                             | 65 |
| Висновки до розділу IV .....                                                                                               | 68 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....                                                                                                     | 69 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                        | 70 |

## ВСТУП

Акумуляторна система паливоподачі дизельного двигуна є однією з ключових складових його роботи, забезпечуючи подачу палива під необхідним тиском у форсунки для формування оптимальної паливно-повітряної суміші. Ефективність роботи дизельного двигуна безпосередньо залежить від стану його паливної системи, а будь-які відхилення в роботі акумуляторного насоса або регулюючих елементів можуть призвести до зниження потужності, підвищення витрати палива та утворення шкідливих викидів.

Ремонт та технічне обслуговування акумуляторної системи паливоподачі передбачає комплекс заходів, спрямованих на підтримку працездатності системи, виявлення і усунення несправностей, а також контроль технічних характеристик її елементів. Процеси технічного обслуговування включають перевірку герметичності, чистоти фільтрів, стану насоса та трубопроводів, калібрування регулюючих елементів, а також діагностику ефективності роботи форсунок.

Розробка технології ремонту передбачає систематизацію операцій, визначення оптимальних методів розбирання, очищення, дефектування та складання компонентів системи. Це дозволяє забезпечити надійність, точність і безпечність виконання робіт, зменшити ймовірність повторних поломок та продовжити строк служби обладнання.

Технічне обслуговування та ремонт акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів вимагає знань з механіки, гідравліки та матеріалознавства, а також дотримання правил охорони праці під час виконання робіт. У результаті правильно організованого процесу обслуговування забезпечується стабільна робота двигуна та оптимальні експлуатаційні характеристики транспортного засобу.

## РОЗДІЛ І ТЕОРЕТИЧНИЙ

### 1.1 Загальна характеристика системи паливоподачі дизельного двигуна

Дизельний двигун функціонує за принципом, який суттєво відрізняється від роботи бензинового двигуна, що безпосередньо впливає на конструктивні особливості його системи живлення. Основою роботи дизельного двигуна є процес згоряння палива, який відбувається внаслідок високої температури, що виникає під час значного стискання повітря в циліндрах. Саме ця температура, яка досягає 700–800 °С, забезпечує самозаймання палива після його впорскування у камеру згоряння через форсунки під великим тиском [3].

Робочий процес дизельного двигуна базується на термодинамічному циклі Дизеля або, у більшості сучасних конструкцій, на циклі Трінклера-Сабате. Зазначені цикли характеризуються підвищеним коефіцієнтом корисної дії (ККД) у порівнянні з циклом Отто, який є типовим для бензинових двигунів. Завдяки своїй енергоефективності дизельні двигуни спочатку отримали широке застосування у вантажному транспорті, а згодом почали активно використовуватися і в легкових автомобілях.

Система живлення дизельного двигуна виконує функції зберігання, очищення та подачі дизельного палива й повітря до циліндрів двигуна, а також відведення продуктів згоряння у навколишнє середовище (рис. 1.1).

До складу системи живлення входять основні елементи: паливний бак 1, фільтри грубого 4 і тонкого очищення 8, паливопідкачувальний насос 5, паливний насос високого тиску 6, форсунки 10 та паливопроводи низького і високого тиску 7, 12. Очищення повітря здійснюється у повітроочиснику 9.

Паливо з бака подається підкачувальним насосом через фільтр грубого очищення, після чого проходить фільтр тонкого очищення та надходить до паливного насоса високого тиску. Очищення палива є важливим етапом,

оскільки воно запобігає потраплянню механічних домішок у прецизійні пари паливного насоса, забезпечуючи стабільну роботу системи уприскування [7].

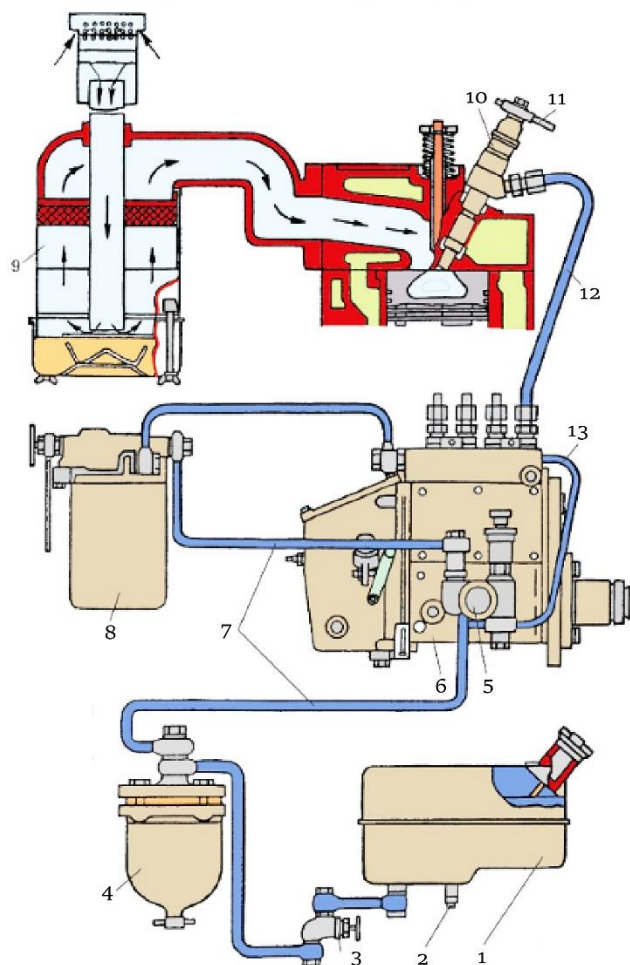


Рис. 1.1. Система живлення дизельного двигуна: 1 – паливний бак, 2 – зливний кран, 3 – витратний кран, 4 – фільтр грубої очистки палива, 5 – паливопідкачувальний насос, 6 – паливний насос високого тиску, 7 – паливопроводи низького тиску, 8 – фільтр тонкої очистки палива, 9 – повітроочисник, 10 – форсунка, 11 – зливна трубка, 12 – паливопровід високого тиску, 13 – трубка для перепускання надлишків палива.

Паливний насос високого тиску дозовано подає паливо під великим тиском до форсунок, які розпилюють його у дрібнодисперсному стані безпосередньо у циліндри двигуна, забезпечуючи ефективне згоряння. Надлишки палива, що просочуються через зазори у форсунках, відводяться зливною трубкою 11 до фільтра тонкого очищення, а надлишкове паливо з

голівки насоса високого тиску повертається через трубку 13 до підкачувального насоса.

Повітря, необхідне для процесу згоряння, надходить через повітроочисник, де воно звільняється від пилу та інших домішок, після чого подається у циліндри через впускний трубопровід і впускний клапан. Відпрацьовані гази після згоряння палива виводяться з циліндрів через випускні клапани, далі через випускні трубопроводи і викидаються в атмосферу через вихлопну трубу. Такий принцип роботи системи живлення забезпечує безперебійну подачу очищеного палива та повітря, що сприяє підвищенню економічності, надійності й екологічності роботи дизельного двигуна [13].

Паливопідкачувальний насос (рис. 1.2) є невід'ємним елементом системи живлення дизельного двигуна, що забезпечує стабільну подачу палива до насоса високого тиску та сприяє ефективному функціонуванню всієї паливної системи.

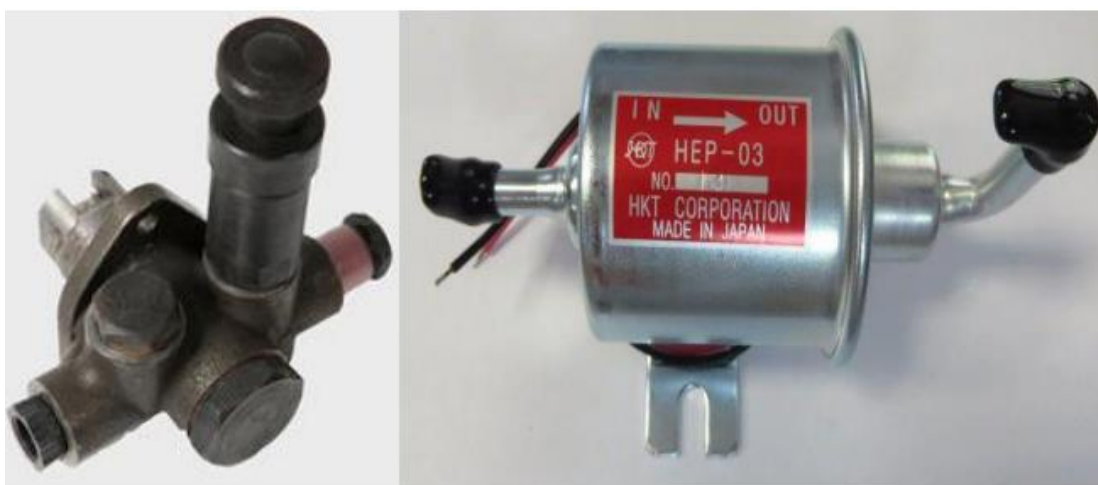


Рис. 1.2. Паливо-підкачувальний насос механічний (зліва) і електричний (справа).

Основним його призначенням є підкачування палива з бака та видалення повітряних пробок із магістралі. Зазвичай такий насос монтується безпосередньо на паливному насосі високого тиску і приводиться в дію ексцентриком кулачкового валу.

У сучасних дизельних двигунах широкого застосування набули електричні паливopідкачувальні насоси, розташовані безпосередньо в паливному баку, що забезпечує підвищену надійність і стабільність подачі палива. Важливою конструктивною особливістю є наявність ручного приводу підкачування, який може бути виконаний у вигляді еластичної груші або інтегрований у корпус насоса.

Такий елемент дозволяє ефективно видаляти повітря із системи живлення та гарантує безперебійну роботу дизельного двигуна.

Паливний насос високого тиску є одним із найважливіших елементів системи живлення дизельного двигуна, який виконує функцію основного вузла подачі палива під тиском своєрідного «серця» паливної системи. Принцип його роботи базується на дії плунжерної пари, що складається з поршня (плунжера) та циліндра (втулки) малих розмірів, які забезпечують високоточне дозування палива (рис. 1.3).

Плунжерна пара виготовляється з високоякісної легованої сталі з дотриманням підвищених вимог до точності обробки, що дозволяє досягти мінімального зазору між плунжером і втулкою. Це забезпечує герметичність, ефективність роботи та довговічність паливного насоса. Залежно від конструкції та принципу дії розрізняють три основні типи паливних насосів високого тиску [3, 5].

Форсунки є завершальною ланкою системи паливоподачі дизельного двигуна та належать до найбільш навантажених і швидкозношуваних елементів. Вони працюють у складних експлуатаційних умовах, коли голка розпилювача здійснює численні зворотно-поступальні рухи з частотою, що дорівнює половині кількості обертів колінчастого вала, та безпосередньо контактує з камерою згоряння.

Форсунка є ключовим і складним елементом системи упорскування палива. Вона отримує паливо під високим тиском зі спільної паливної магістралі та подає його через мікроскопічні інжекційні отвори

безпосередньо у камеру згоряння, де воно розпилюється у вигляді дрібнодисперсних крапель при потраплянні в циліндр.

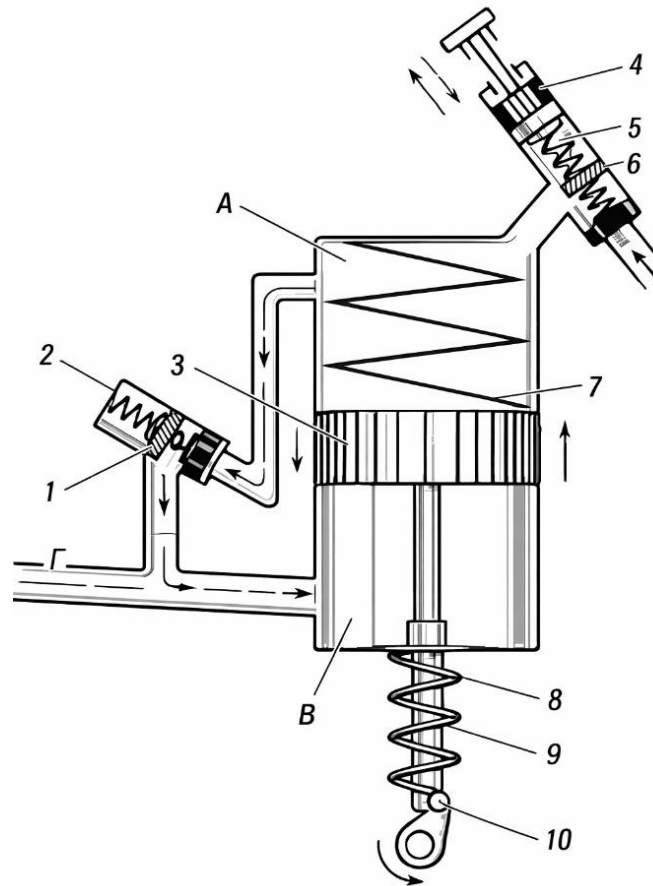


Рис. 1.3 Схема функціонування паливного насоса низького тиску та ручного паливопідкачувального насоса: 1 – клапан всмоктування; 2, 5, 7, 8 – пружини; 3 – поршень; 4 – поршень ручного паливопідкачувального насоса; 6 – клапан подачі; 9 – штовхач; 10 – ексцентрик; А – камера всмоктування; В – паливоподача з фільтру грубого очищення; В – камера нагнітання; Г – паливоподача до паливного насоса високого тиску.

Соленоїдний клапан вирізняється високою швидкодією та точною реакцією на електричні сигнали керування. Усередині форсунки гідравлічна сила завжди менша за силу пружини, тому відкриття голчастого клапана відбувається виключно під дією електромагнітного сигналу. Лише поєднання магнітного впливу соленоїда та гідравлічного тиску дає змогу подолати силу

пружини, що забезпечує високоточне дозування палива і гнучке регулювання моменту відкривання клапана [10].

Принцип дії електричних інжекторів полягає у наступному. До моменту активації соленоїда контрольний клапан перебуває у закритому положенні, а паливо надходить у форсунку через вхідний отвір (рис. 1.4, а).

Потім воно розподіляється на два потоки: один спрямовується у верхню частину сервопоршня до камери керування тиском, інший у акумулюючу камеру, розташовану в зоні голчастого клапана.

На цьому етапі обидві камери з'єднані зі спільною магістраллю, тому тиск у них є однаковим. Через більшу площу сервопоршня відносно площі голчастого клапана гідравлічна сила діє вниз, утримуючи клапан у закритому положенні.

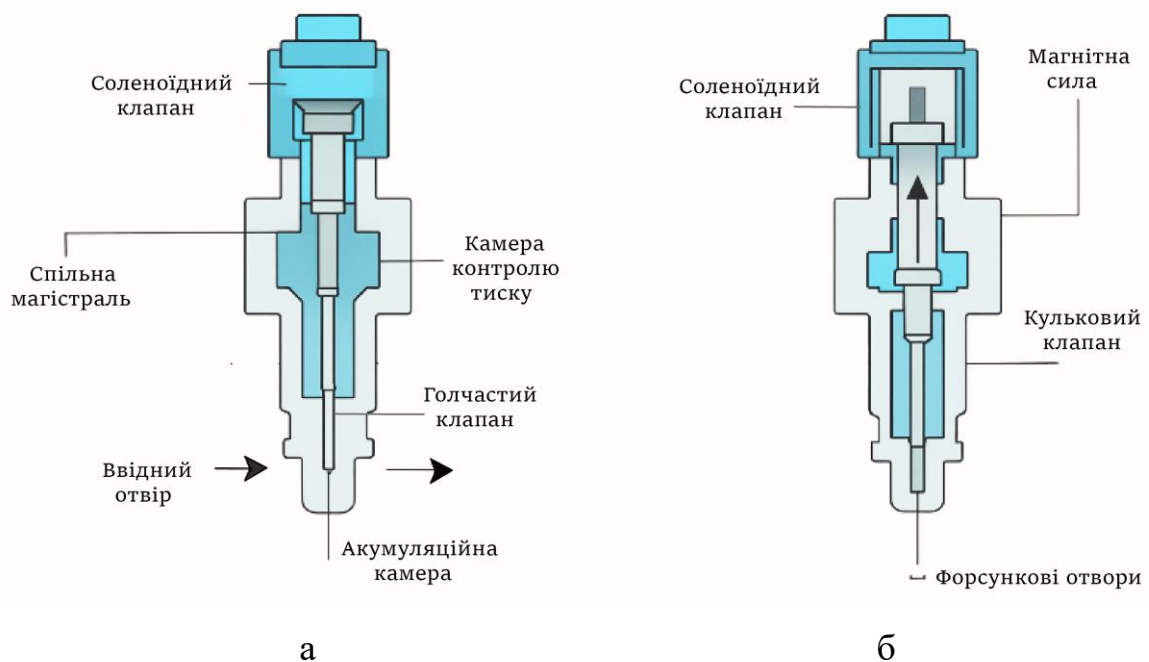


Рис. 1.4. Принцип дії електричного інжектора.

Процес упорскування палива зображено на рисунку 1.4 (б). При подачі електричної напруги на соленоїд виникає магнітне поле, яке піднімає якор разом із кульковим клапаном. Унаслідок цього тиск у камері керування тиском знижується, оскільки частина палива відводиться у зворотну паливну лінію.

Водночас у акумуляційній камері тиск залишається високим, що спричиняє підйом голчастого клапана та відкриття інжекційних отворів для подачі палива в камеру згоряння [2].

Після завершення упорскування, коли електрична напруга на соленоїді зникає, контрольний клапан повертається у вихідне положення. Тиск у камері керування тиском вирівнюється з тиском у паливній магістралі, і під дією пружини та різниці тисків голчастий клапан опускається вниз, герметично перекриваючи отвори та припиняючи подачу палива.

## 1.2 Характеристики процесу впорскування палива

У класичних системах живлення дизельних двигунів, у яких використовуються рядні або розподільні плунжерні паливні насоси високого тиску, подача пального відбувається в межах одного імпульсу впорскування.

У цьому випадку не передбачено ані попередніх, ані додаткових доз пального, тому процес має однофазний (монофазний) характер, що умовно показано на рисунку 1.5.

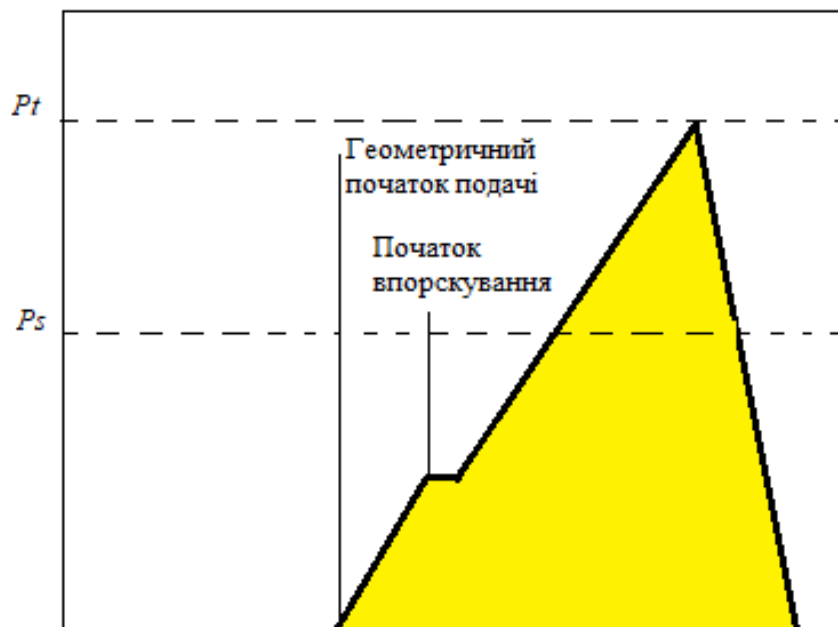


Рис. 1.5. Характеристика тиску впорскування в традиційних паливних системах:  $P_t$  – середній тиск впорскування,  $P_s$  – максимальний тиск впорскування.

У паливних насосах високого тиску розподільного типу, обладнаних електромагнітним керувальним клапаном, можна реалізувати двофазне (двоконтурне) впорскування, при якому перед основною дозою палива подається попередній імпульс. Така конструктивна модифікація дає змогу частково вдосконалити перебіг процесу згоряння порівняно з традиційними системами [5].

Для класичних дизельних ПНВТ характерний жорсткий кінематичний зв'язок між вузлом створення тиску (кулачковою шайбою) та елементами подачі палива (плунжерною парою). Унаслідок цього процес формування тиску і обсяг упорскуваного пального безпосередньо залежать від режиму роботи двигуна. Така залежність визначає специфіку характеристик упорскування:

- підвищення тиску впорскування відбувається пропорційно зростанню частоти обертання колінчастого вала та циклової подачі палива;
- зміна тиску впродовж упорскування має виражений піковий максимум на початку процесу з подальшим поступовим зменшенням у завершальній фазі в момент закриття голки форсунки.

Такий підхід до формування подачі палива має низку характерних особливостей, які безпосередньо позначаються на ефективності паливного процесу:

- на малих режимах роботи двигуна обсяг упорскуваного палива зменшується, що призводить до зниження тиску впорскування; водночас за підвищеної подачі тиск суттєво зростає (рис. 1.5);
- максимальне значення тиску впорскування істотно перевищує середній рівень інколи більш ніж у два рази, що надає процесу імпульсного, ударного характеру;
- крива зміни тиску має близьку до трикутної форму, яка не відповідає сучасним вимогам щодо забезпечення рівномірного перебігу згоряння.

Рівень пікового тиску впорскування є ключовим чинником під час вибору матеріалів і визначення довговічності елементів паливної системи, зокрема плунжерної пари та розподільчих механізмів [4].

З позиції процесів сумішоутворення та екологічних показників роботи двигуна важливо формувати більш згладжений профіль тиску, оскільки саме він визначає:

- ефективність утворення паливно-повітряної суміші;
- ступінь шкідливості вихлопних газів;
- рівень шумового та вібраційного навантаження під час функціонування двигуна.

На відміну від традиційних паливних систем, акумуляторна система Common Rail повинна відповідати низці ключових вимог, пов'язаних із формуванням оптимального закону впорскування пального. Серед основних можна виокремити такі:

- автономність регулювання параметрів упорскування: тиск у системі та циклова подача палива мають налаштовуватися незалежно один від одного в усіх режимах роботи двигуна. Такий підхід забезпечує точне дотримання співвідношення паливо–повітря, що сприяє підвищенню економічності та зменшенню шкідливих викидів;
- зменшена подача на початковій стадії впорскування: невелика попередня доза пального вводиться під час періоду затримки займання від моменту початку впорскування до фактичного старту горіння. Це дозволяє пом'якшити перебіг початкової фази згоряння, знизити рівень шуму та динамічні навантаження.

Реалізація зазначених вимог стала можливою завдяки двофазному принципу впорскування, застосованому в системах Common Rail. На рисунку. 1.6 та 1.7 наведено схематичне зображення характерних параметрів процесу впорскування для цього типу паливної системи.

Паливна система Common Rail має модульну конструкцію, де кожен компонент відповідає за певну функцію у формуванні параметрів

впорскування палива. Ключові елементи, що безпосередньо визначають характеристики подачі палива, включають:

- електромагнітні форсунки з керуванням, інтегровані у головку блока циліндрів, які забезпечують точне дозування палива та контроль моменту його подачі в кожен циліндр;
- рейку високого тиску (акумулятор), де підтримується стабільний тиск палива незалежно від режиму роботи двигуна;
- паливний насос високого тиску (ПНВТ), що генерує та подає паливо до рейки під необхідним тиском.

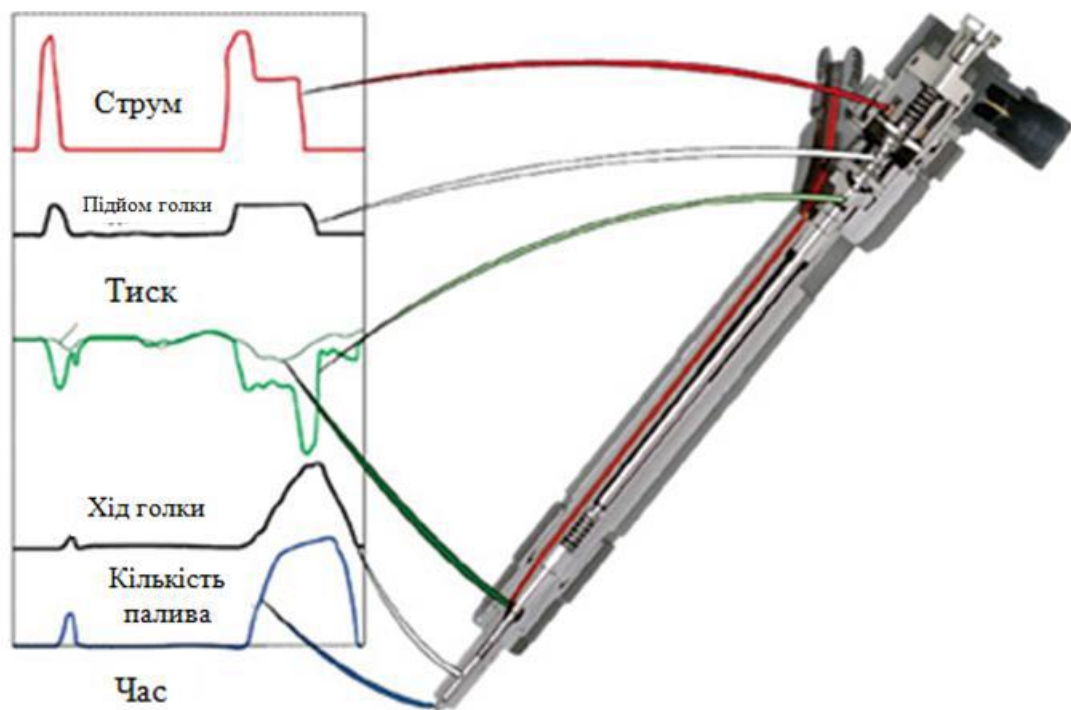


Рис. 1.6. Характеристика тиску впорскування в паливній системі Common Rail.

Для стабільного і правильного функціонування системи необхідна наявність електронних елементів контролю та зворотного зв'язку, серед яких виділяються:

- електронний блок керування (ЕБК) – основний компонент системи, який здійснює аналіз та управління процесом подачі палива;

- датчик частоти обертання колінчастого вала, що визначає поточний режим роботи двигуна;
- датчик положення розподільного вала, який забезпечує синхронізацію подачі палива з фазами газорозподілу.

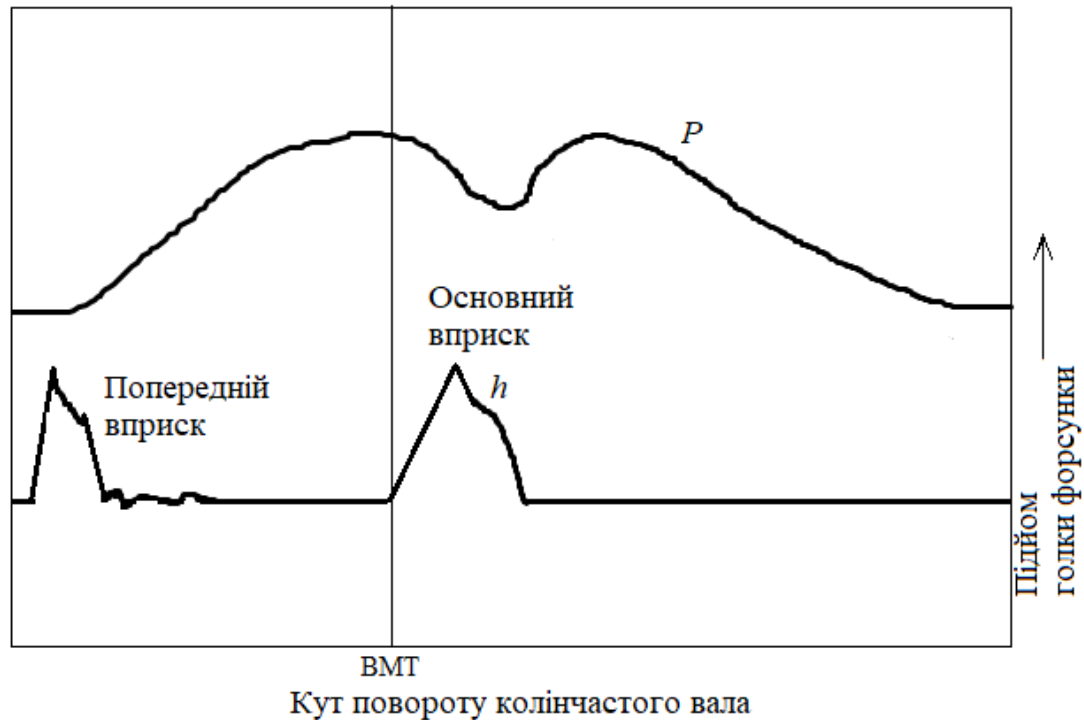


Рис. 1.7. Залежність зміни тиску в циліндрі двигуна та підйому голки форсунки від частоти обертання колінчастого вала за умови попереднього впорскування палива.

У сучасних дизельних двигунах легкових автомобілів для створення високого тиску у системі живлення використовують радіально-плунжерні насоси високого тиску. Особливість системи Common Rail полягає у повному розділенні процесів генерації тиску та впорскування палива: насос підтримує постійний тиск, тоді як момент та тривалість подачі палива визначаються окремо, незалежно від фази роботи насоса.

Передача обертального руху на ПНВТ здійснюється від колінчастого вала через привід із фіксованим передаточним числом, що забезпечує стабільність подачі палива. Рівномірне наповнення рейки дозволяє робити

конструкцію насоса більш компактною, а його деталі працюють під значно меншими механічними навантаженнями порівняно з класичними системами.

Паливні форсунки підключені до рейки короткими магістралями високого тиску та обладнані соленоїдними клапанами, що керуються електронним блоком управління. Впорскування починається при подачі електричного сигналу на клапан і припиняється після його відключення.

Забезпечення постійного високого тиску в рейці дозволяє дозувати паливо залежно від часу відкриття форсунки: чим довше клапан активний, тим більша кількість палива потрапляє до циліндра. Цей процес не залежить від частоти обертання двигуна чи ПНВТ, що дає повну свободу керування подачею.

Висока швидкодія керованого клапана досягається завдяки підсиленним електричним імпульсам – підвищеній напрузі та силі струму, що потребує оптимізованих алгоритмів управління фазою вмикання.

Кут випередження впорскування регулюється системою електронного управління дизельним двигуном (EDC), яка синхронізує впорскування з фазами робочого циклу на основі сигналів від датчиків частоти обертання колінчастого вала та положення розподільного вала.

Попереднє (пілотне) впорскування подача невеликої запальної порції палива здійснюється з певним випередженням до досягнення поршнем верхньої мертвої точки. Воно може складати до  $90^\circ$  повороту колінчастого вала, але якщо кут випередження менший за  $40^\circ$ , існує ризик осідання палива на стінках циліндра та днищі поршня, що може призвести до розрідження моторної оливи та погіршення умов її змащування.

Попереднє впорскування передбачає подачу невеликої кількості дизельного пального (приблизно  $1...4 \text{ мм}^3$ ) до початку основного впорскування. Це створює низку важливих ефектів:

- скорочується період затримки самозаймання після подачі основної порції палива завдяки частковому запуску реакцій горіння, що дещо підвищує тиск стиснення;

- процес згоряння протікає більш плавно, оскільки зменшується різкість росту тиску, а отже, знижується жорсткість роботи двигуна та рівень шуму;
- зменшується токсичність відпрацьованих газів та підвищується економічність палива завдяки кращому сумішоутворенню й стабільному горінню.

У випадку однофазного впорскування, коли попередня порція відсутня, характер зміни тиску інший: він різко зростає поблизу ВМТ, формуючи пізній та крутий пік після її проходження, що спричиняє посилений шум згоряння.

Застосування попереднього впорскування, як видно на графіку зміни тиску в циліндрі, дозволяє досягти більш високого тиску в момент проходження ВМТ, а подальше його зростання відбувається плавно та контрольовано. Це сприяє зниженню акустичного навантаження та підвищенню паливної економічності.

Скорочення фази затримки самозаймання при двофазному впорскуванні опосередковано впливає на форму кривої крутного моменту. Водночас зміна питомої ефективної витрати палива залежить від параметрів керування, зокрема від кута випередження основного впорскування та тимчасового інтервалу між піотною та основною порціями. Оптимізація цих параметрів дозволяє досягти найкращого балансу між економічністю, токсичністю та акустичними характеристиками двигуна.

Основна порція впорскуваного палива забезпечує енергію, яка перетворюється на корисну роботу під час робочого ходу поршня. Від неї безпосередньо залежать величина крутного моменту та потужнісні характеристики двигуна.

У системах Common Rail тиск у форсунках залишається практично постійним протягом всього процесу впорскування. Це забезпечує стабільну інтенсивність розпилення палива, покращує формування суміші та мінімізує втрати, які характерні для традиційних систем із змінним тиском.

Додаткове, або вторинне, впорскування використовується як екологічна функція, особливо в двигунах із каталітичними нейтралізаторами, для зниження рівня оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ).

Характерні риси такого виду подачі палива:

- відбувається після основного впорскування;
- здійснюється у фазі розширення, інколи до  $200^\circ$  п.к.в. після ВМТ;
- об'єм подачі невеликий і точно дозований.

На відміну від пілотної та основної порцій, вторинна подача палива не бере участі в активному згорянні. Під впливом високої температури відпрацьованих газів паливо випаровується, а його пари сприяють зниженню концентрації  $\text{NO}_x$  завдяки додатковим хімічним реакціям у вихлопній системі. Такий підхід дозволяє забезпечити відповідність жорстким екологічним стандартам, зокрема Euro 5/6.

Під час такту випуску у вихлопний тракт надходить суміш відпрацьованих газів із парами палива, що утворилися внаслідок вторинного впорскування. Частина цієї суміші може повертатися до камери згорання через систему рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), що забезпечує ефект, подібний до пілотного впорскування: зменшується інтенсивність тепловиділення під час основного згорання, що знижує шумність і робочі коливання двигуна.

Якщо використовується спеціалізований каталітичний нейтралізатор оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), вторинне паливо виконує роль хімічного відновника, сприяючи редукції  $\text{NO}_x$  у потоці відпрацьованих газів, що дозволяє відповідати сучасним екологічним вимогам.

Водночас надмірно пізнє впорскування вторинної порції може призводити до потрапляння не випарованого палива на стінки циліндра, розмиваючи мастильну плівку і погіршуючи умови змащування, що прискорює зношування пари «поршень–циліндр».

Тому цей режим впорскування слід застосовувати лише відповідно до технологічних рекомендацій і калібрування виробника двигуна.

### **1.3 Несправності акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів ознаки, причини та способи їх усунення**

Акумуляторна система паливоподачі дизельних двигунів є однією з ключових складових, що визначають ефективність роботи двигуна, стабільність його потужності та економічність витрати палива.

Вона забезпечує подачу дизельного палива під високим тиском до циліндрів у визначений момент часу, що безпосередньо впливає на процес згоряння і, як наслідок, на роботу всього двигуна. Через складну конструкцію та експлуатаційні навантаження система часто піддається різним несправностям, які негативно впливають на її роботу, знижують ресурс компонентів та можуть призвести до повної відмови двигуна, якщо їх не усунути вчасно [11].

Однією з найпоширеніших проблем є недостатній тиск у паливній магістралі. Ця несправність зазвичай виникає через зношування деталей насоса високого тиску або засмічення паливного фільтра. Понижений тиск призводить до нерівномірного розпилення палива в циліндрах, що викликає нестабільну роботу двигуна, пропуски запалювання та збільшену витрату палива.

Для усунення цієї проблеми необхідно виконати перевірку тиску на виході насоса, очистку або заміну паливних фільтрів, а також при виявленні зносу деталей – заміну поршнів, плунжерів і клапанів насоса. Важливим аспектом є правильне регулювання насосної апаратури відповідно до технічних параметрів двигуна, що гарантує стабільний тиск у системі.

Ще однією значною несправністю є засмічення форсунок, що негативно впливає на процес розпилення палива та його рівномірне надходження до циліндрів.

Засмічення може виникати через використання неякісного палива або відкладення смолистих і воскових речовин унаслідок тривалого простою двигуна. Симптомами такої несправності є нерівномірний хід двигуна,

збільшений димовий викид, падіння потужності та характерний звук роботи, який відрізняється від нормального.

Усунути цю проблему можна шляхом очищення форсунок спеціальними розчинниками або ультразвуковою обробкою. У випадках серйозного забруднення чи зносу форсунок їх замінюють новими, дотримуючись рекомендацій виробника щодо монтажу та регулювання кута уприскування. Не менш поширеною проблемою є витoki палива в акумуляторній системі. Витoki можуть виникати через тріщини в паливних трубках, пошкодження ущільнювальних елементів або неправильну установку компонентів системи [7].

Такі витoki небезпечні не лише для роботи двигуна, а й для безпеки експлуатації автомобіля, оскільки паливо під високим тиском може потрапити на гарячі елементи двигуна і спричинити займання. Усунення витоків передбачає заміну пошкоджених трубок, перевстановлення або заміну ущільнювачів і ретельну перевірку герметичності всіх з'єднань під час тестування системи під тиском.

Ще однією важливою несправністю є знос або вихід з ладу плунжерних пар та клапанів насоса. Така ситуація виникає через тривалу експлуатацію без належного технічного обслуговування або через використання забрудненого палива. Симптоми проявляються у вигляді нестабільної подачі палива, нерівномірного ходу двигуна, підвищеного шуму та вібрацій. Усунення цієї несправності потребує повного розбирання насоса, очищення та заміни зношених деталей, після чого проводиться регулювання системи за допомогою спеціальних стендів, що дозволяють точно відновити параметри тиску та часу уприскування.

Особливу увагу слід приділяти проблемам, пов'язаним із корозією та утворенням осаду в паливному баку та трубопроводах. Корозія металевих деталей призводить до появи дрібних частинок у паливі, які забивають фільтри та форсунки. Регулярна очистка паливного бака, заміна фільтрів та використання якісного палива значно знижують ймовірність таких

несправностей. Крім того, системи з електронним управлінням паливоподачею можуть давати збої через несправність датчиків або блоків керування, що потребує перевірки електричних з'єднань, стану проводки та, за потреби, програмного переналаштування або заміни елементів електроніки.

Важливою умовою запобігання несправностям акумуляторної системи є регулярне технічне обслуговування, що включає перевірку герметичності, очищення та заміну фільтруючих елементів, перевірку тиску та контролю роботи форсунок.

Також до профілактичних заходів відносяться використання рекомендованого палива, дотримання режимів експлуатації двигуна та своєчасне реагування на будь-які зміни в його роботі, такі як збільшення диму, падіння потужності або нерівномірний хід. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє не тільки продовжити ресурс двигуна, але й забезпечити безпеку роботи автомобіля та знизити витрати на ремонт у майбутньому.

Таким чином, акумуляторна система паливоподачі дизельного двигуна є складним механізмом, що вимагає уважного контролю та своєчасного технічного обслуговування. Несправності в системі, такі як зниження тиску, засмічення форсунок, витоки палива, знос насосних елементів та корозія, можуть призвести до серйозних порушень роботи двигуна та небезпеки експлуатації [13].

Для їх усунення застосовуються комплексні заходи, що включають діагностику, очищення, заміну зношених деталей, регулювання та контроль параметрів роботи системи.

Профілактика та регулярний контроль дозволяють підтримувати ефективність паливоподачі на високому рівні, забезпечуючи стабільну та безпечну роботу дизельного двигуна протягом усього його ресурсу.

## **Висновки до розділу I**

В розділі охарактеризовано систему паливоподачі дизельного двигуна, її призначення, будову та принцип дії. Система паливоподачі забезпечує подачу палива з бака до циліндрів двигуна у необхідній кількості, під відповідним тиском і в точно визначений момент часу.

Проведено аналіз процесу впорскування палива в дизельних двигунах. У ході роботи обґрунтовано основні несправності акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів типу Common Rail, яка є однією з найпоширеніших сучасних систем упорскування палива.

Встановлено, що найхарактернішими ознаками несправностей є утруднений запуск двигуна, нестабільна робота на холостому ходу, зниження потужності, підвищена витрата палива, поява диму різного кольору з вихлопної труби та загоряння індикатора несправності двигуна.

## РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 2.1. Принцип роботи акумуляторної паливної системи Common Rail

Система впорскування палива Common Rail (CR) являє собою сучасну та вдосконалену технологію в області подачі палива для дизельних двигунів. Вона забезпечує варіативний режим впорскування за допомогою електричних інжекторів, що дозволяє електричним соленоїдним клапанам працювати швидше та точніше у порівнянні з традиційними форсунками.

Конструктивною особливістю системи CR є незалежність процесу подачі палива від процесу його впорскування, що дає змогу здійснювати впорскування без прив'язки до положення розподільного валу (рис. 2.1).

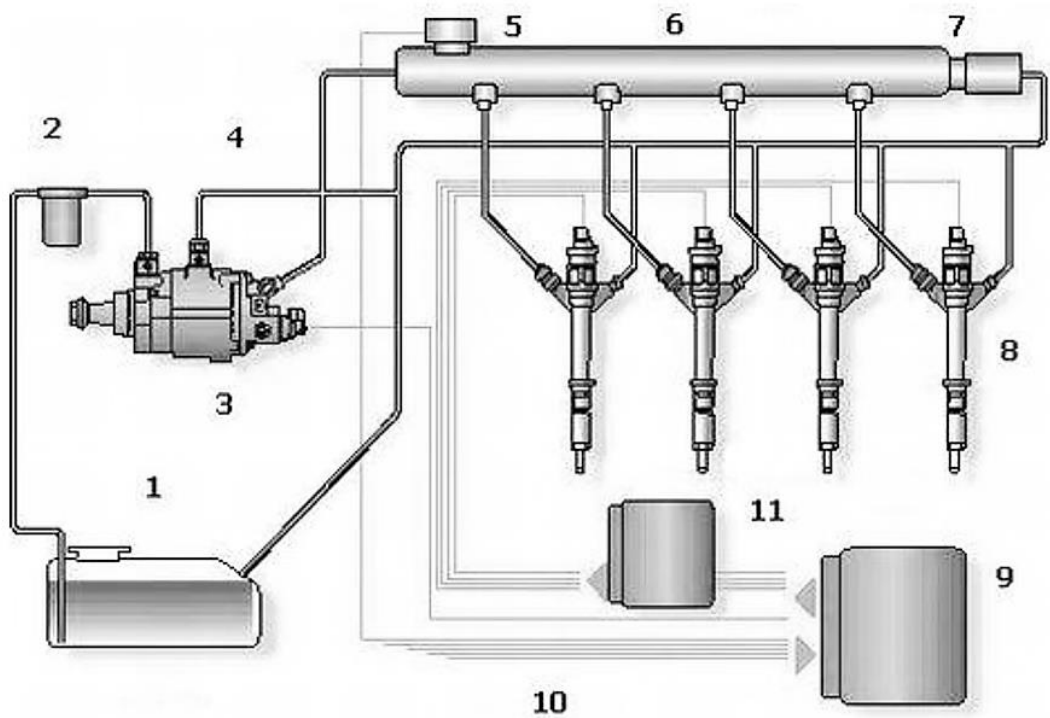


Рис. 2.1. Принципова схема системи Common Rail. 1 – паливний бак; 2 – паливний фільтр; 3 – паливний насос високого тиску; 4 – трубопроводи; 5 – датчик тиску палива; 6 – паливна рампа; 7 – регулятор тиску палива; 8 – форсунки; 9 – електронний блок управління; 10 – сигнали від датчиків; 11 – підсилювальний блок на деяких моделях автомобілів .

Переваги системи Common Rail проявляються у більш високій продуктивності двигуна, плавнішій роботі, зменшеному споживанні палива та меншому забрудненні навколишнього середовища. Однак така система має і свої особливості обслуговування: вона потребує високої чистоти палива та якісного мастила для насосів, а також точності під час ремонту чи заміни форсунок, оскільки найменші дефекти можуть призвести до падіння тиску або порушення процесу впорскування.

Вона значно відрізняється від традиційних механічних або напівмеханічних систем високого тиску завдяки принципово новому підходу до створення і регулювання тиску палива та його подачі в камеру згоряння. Головною особливістю системи Common Rail є наявність єдиного високотискowego акумулятора палива так званої «рейки» (common rail), який постачає паливо під постійним тиском до всіх форсунок незалежно від положення колінчастого вала двигуна.

Це дозволяє розділити процеси нагнітання палива та його впорскування, що істотно підвищує точність дозування палива та контролю моменту його подачі.

Завдяки застосуванню різноманітних електронних датчиків система відстежує параметри роботи двигуна в реальному часі за будь-яких режимів навантаження. До таких параметрів належать частота обертання двигуна, тиск у циліндрах, температура, швидкість потоку палива та інші. Отримані дані передаються на мікропроцесор, який коригує момент та швидкість впорскування, а також тиск палива, забезпечуючи оптимальні умови роботи двигуна.

У системі Common Rail паливо спочатку подається низькотискним насосом до високотискного насоса, де воно стискається до необхідного тиску. Обидва насоси низько- та високотискний електрично керовані та безперервно забезпечують подачу палива під заданим тиском до спільної магістралі.

Спільна магістраль виконує функцію проміжного резервуара, накопичуючи паливо та підтримуючи його під високим тиском. Електронно керовані форсунки отримують паливо з магістралі та розпилюють його відповідно до команд, що надходять від електронного блоку управління (ECU). Система Common Rail забезпечує точний контроль як величини, так і швидкості впорскування палива, що досягається завдяки взаємодії спільної магістралі та соленоїдних форсунок.

На рисунку 2.2 показано, що спільна магістраль оснащена вхідним портом, який з'єднаний із високонапірним насосом, а також декількома вихідними портами, підключеними до інжекторів. Крім того, присутня труба зворотного потоку, що забезпечує відведення надлишкового палива.

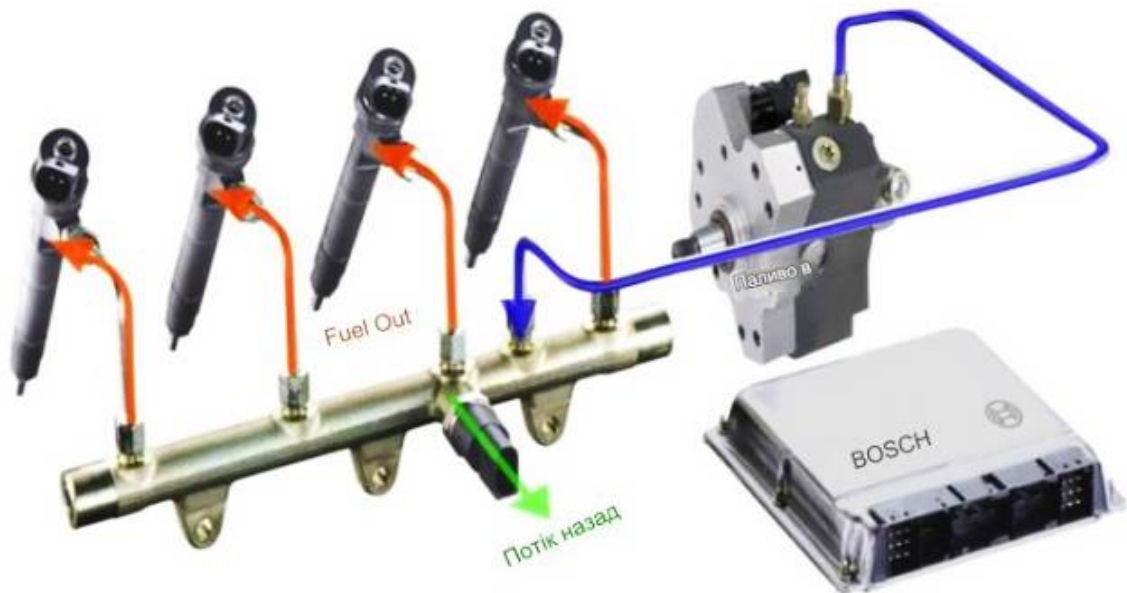


Рис. 2.2. Система спільного впорскування BOSCH.

Форсунка виконує ключову і складну функцію в системі впорскування палива. Вона приймає паливо під високим тиском із загальної магістралі та подає його у камеру згоряння через мікроскопічні інжекційні отвори, забезпечуючи його подрібнення на дрібні краплі при проникненні в циліндр.

Соленоїдний клапан відрізняється від звичайних інжекторів високою швидкістю на командні сигнали.

Гідравлічні сили всередині форсунки завжди менші за силу пружини, а управління голчастим клапаном здійснюється виключно електричним сигналом. Тільки взаємодія магнітної сили соленоїда та гідравлічної сили дозволяє подолати силу пружини, що забезпечує точне регулювання моменту відкривання голчастого клапана та контролю впорскування палива.

Принцип роботи електричних інжекторів можна представити наступним чином. До активації соленоїда контрольний клапан перебуває у закритому положенні, а паливо надходить у форсунку через вхідний отвір (рис. 1.4, а).

Надалі паливо розподіляється у два напрямки: частина накопичується у верхній частині сервопістона в камері контролю тиску, інша надходить у акумуляційну камеру всередині голчастого клапана. Обидві камери сполучені зі спільною магістраллю через отвори, а відсутність різниці тиску між ними та більша площа сервопістона порівняно з голчастим клапаном забезпечують направлену вниз гідравлічну силу, яка утримує голчастий клапан у закритому стані.

Процес впорскування палива відбувається наступним чином (рис. 1.4, б). Подача електричної напруги на соленоїд створює магнітну силу, що піднімає якір і кульковий клапан, знижуючи тиск у камері контролю тиску, оскільки паливо відводиться в лінію зворотного потоку.

При цьому тиск в акумуляційній камері залишається високим, що піднімає голчастий клапан і відкриває шлях для потоку палива через інжекційні отвори.

Після завершення впорскування напруга на соленоїді зникає, контрольний клапан закривається, тиск у камері контролю тиску відновлюється до рівня магістрального тиску, і різниця тисків разом із силою пружини переміщує голчастий клапан вниз, припиняючи подачу палива.

Таким чином, Common Rail є прикладом інтеграції механічної та електронної частини двигуна для досягнення високих стандартів економічності, екологічності та надійності сучасних дизельних двигунів.

Вона дозволяє значно підвищити контроль над процесом згоряння, а також створює можливості для впровадження додаткових технологій, таких як система регенерації сажевого фільтра та контроль викидів NOx, що робить її основою сучасного дизельного двигунобудування.

## **2.2. Діагностика паливної системи Common Rail з використанням сучасних діагностичних приладів.**

Система акумуляторного впорскування дизельного палива типу Common Rail є складним електронно-керованим комплексом, у якому поєднані механічні, гідравлічні та електронні елементи.

До основних складових належать паливний бак, електричний або механічний підкачувальний насос, фільтр тонкого очищення, паливопроводи низького та високого тиску, насос високого тиску, паливна рампа (рейка), датчик тиску, регулятор тиску, форсунки з електромагнітним або п'єзоелектричним приводом, а також електронний блок керування двигуном.

Послідовність діагностики такої системи повинна бути логічно вибудованою від простих перевірок до складніших, з урахуванням взаємозв'язку між елементами системи та можливих причин несправностей.

Діагностування паливної системи Common Rail доцільно розпочинати з аналізу зовнішніх ознак несправності та опитування водія щодо умов виникнення дефекту.

Типовими проявами несправностей є ускладнений запуск двигуна, нестійка робота на холостому ходу, зниження потужності, підвищена витрата палива, поява чорного або сизого диму, а також перехід двигуна в аварійний режим. Важливим є визначення, чи виникає проблема на холодному чи прогрітому двигуні, під навантаженням чи на холостому ходу, оскільки це дозволяє локалізувати можливе джерело несправності.

Сучасні дизельні двигуни з акумуляторною системою паливоподачі типу Common Rail оснащені електронними блоками управління (ECU), які

контролюють тиск палива, час впорскування, кут запалювання та інші параметри роботи двигуна. Для діагностики таких систем використовується спеціалізований сканер або діагностичний пристрій, який підключається до діагностичного роз'єму автомобіля (рис.2.3).



Рис. 2.3. Комп'ютерна діагностика паливної системи Common Rail.

Процес комп'ютерної діагностики включає кілька етапів:

1. Підключення сканера до OBD-II порту або спеціального роз'єму виробника.
2. Зчитування кодів помилок (DTC) прилад визначає несправності у форсунках, високонапірному насосі, датчиках тиску палива та інших елементах системи.
3. Реєстрація параметрів у режимі реального часу тиск у рейці, час відкриття форсунок, температура палива, кут випередження впорскування.
4. Аналіз отриманих даних програмне забезпечення дозволяє визначити причини нестабільної роботи двигуна або зниження потужності.
5. Виконання тестів форсунок та насоса сканер може активувати форсунки окремо, перевіряти витрату палива та порівнювати з заводськими характеристиками.

Перевага комп'ютерної діагностики полягає в точності, швидкості та можливості отримати повну картину роботи паливної системи без розбирання обладнання.

Після електронної перевірки переходять до контролю стану паливної системи низького тиску. Перевіряється наявність палива в баку, відсутність підсмоктування повітря в магістралях, герметичність з'єднань та стан паливного фільтра.

Принцип роботи технологія упорскування палива Система Common Rail ґрунтується на подачі палива до форсунок під постійним тиском від загальної рейки. Ця технологія була вперше розроблена німецькими інженерами компанії Bosch. Коммон Рейл від компанії Бош повсюдно використовується на транспортних засобах таких марок, як Volvo, Mercedes-Benz та BMW.

Засмічений фільтр або негерметичність можуть спричинити недостатню подачу палива до насоса високого тиску, що призводить до зниження тиску в рейці та утрудненого запуску двигуна. За необхідності вимірюється тиск перед насосом високого тиску та перевіряється продуктивність підкачувального насоса (рис. 2.4).

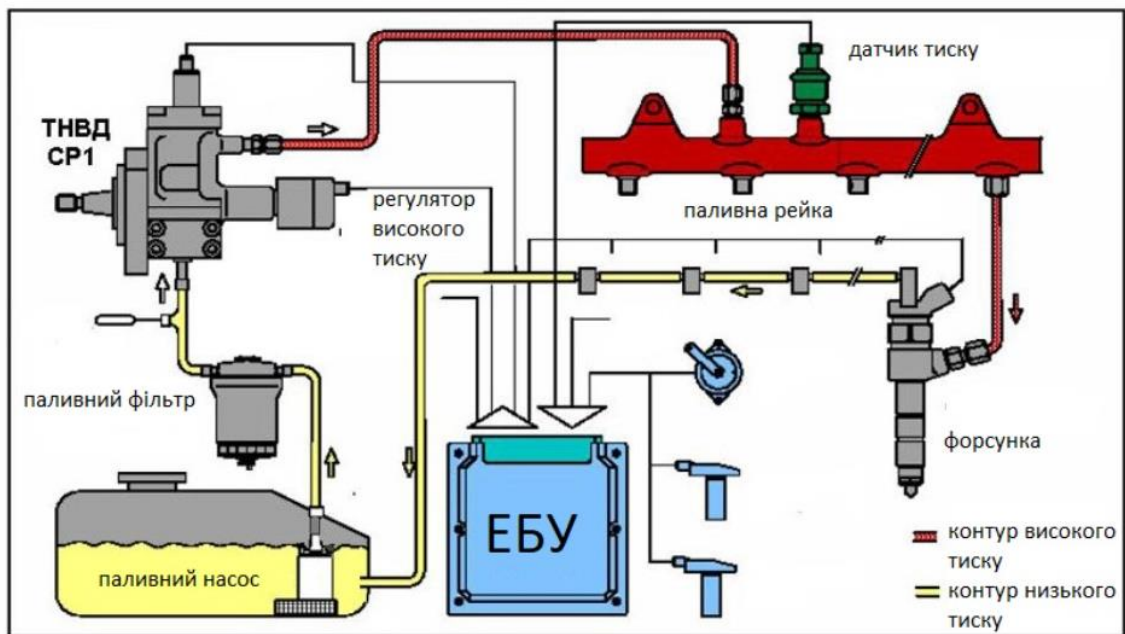


Рис. 2.4. Причини зниження тиску палива в системі високого тиску.

Особливу увагу приділяють діагностиці насоса високого тиску. Оцінюється його здатність створювати необхідний тиск під час запуску

двигуна, оскільки для більшості систем Common Rail мінімальний тиск для запуску становить приблизно 250–300 бар.

Недостатній тиск може бути наслідком внутрішнього зносу плунжерних пар, заклинювання регулятора подачі або наявності стружки в паливі. У разі підозри на механічний знос виконується перевірка зливу палива через зворотну магістраль та огляд палива на наявність металевих частинок.

Ефективної перевірка технічного стану паливного насоса вимагає спеціального випробувально-діагностичного обладнання. Для повного циклу перевірки використовуються спеціальні стенди.

Основними деталями паливного насоса, які найбільше зношуються, є плунжер і втулка паливної секції, нагнітальний клапан, вал та ексцентрикова обойма. У процесі експлуатації робочі поверхні плунжерної пари піддаються абразивній дії, отримують теплові деформації, виникає ударний і кавітаційний знос їх поверхонь. Через зношування клапанів і їх сідел відбувається порушення герметичності паливної секції. На ексцентриковій втулці та валу насоса утворюються задири і подряпини [8].

Модуль керування системою впорскування дизельного двигуна визначав необхідний тиск палива для впорскування, спираючись на сигнали, що надходили від:

- датчика обертів двигуна;
- датчика температури охолоджувальної рідини;
- датчика масового потоку повітря;
- датчика тиску повітря у впускному колекторі;
- датчика положення педалі газу;
- датчика тиску палива в акумуляторі.

Фірма BOSCH випускає стенди для перевірки насосів власної марки, а також інших виробників насосів. Стенд Bosch EPS 708 дозволяє тестувати компоненти систем Common Rail з тиском впорскування до 2200 бар – найвищим із застосовуваних сьогодні у серійних двигунах (рис.2.5).



Рис. 2.5. Стенд Bosch EPS 708.

Враховуючи тенденцію до збільшення тиску, стенд надає можливість перевіряти системи з тиском до 2500 бар. EPS 708 оснащений вбудованою системою охолодження, що дозволяє знизити витрату води і спрощує підключення стенду. Робоча область стенду закривається міцним прозорим ковпаком, який сприяв відмові від захисту над з'єднувальною муфтою. У результаті спростилася установка насоса на стенд і зросла безпека оператора. Bosch EPS 708 дозволяє перевіряти електромагнітні форсунки і паливні насоси систем Common Rail, виробництва BOSCH та інших компаній.

Кількість палива, що подається паливним насосом, вимірюється за допомогою електроніки; вона також регулює тиск насоса і подачу масла.

Для зняття даних і виведення інформації з блока керування двигуном до автомобіля підключався мультимарочний сканер KTS 520 фірми BOSCH у вигляді апаратного модуля з відповідним програмним забезпеченням на ноутбучі (рис. 2.6) [7].

Він дозволяв як відображати параметри з блока керування двигуном у реальному часі, так і проводити запис у вигляді графіків і діаграм.



Рис.2.6. Підключення діагностичного пристрою Bosch KTS 520.

Для визначення тиску палива, створюваного паливним насосом, та відповідної скважності сигналу, який у даних умовах надходить на регулятор тиску палива, двигун з експериментальним ПНВТ прогрівається до робочої температури охолоджуючої рідини. Вимірювання проводяться у двох режимах роботи: під час запуску двигуна та при максимальному розгоні на четвертій і п'ятій передачах у діапазоні від 1500 до 3000 об./хв.

Значення тиску палива та скважності сигналу на регулятор виводяться як у вигляді миттєвих показників, так і у графічній формі за певний проміжок часу. Отримані результати гідравлічних випробувань, що відображають технічний стан паливного насоса, узагальнено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

### Результати гідравлічних випробувань

| № з/п | Продуктивність паливного насоса, $\text{см}^3$ |                                 | Зниження продуктивності насоса, при тисках 300 і 1200 $\text{кг/см}^2$ , % | Максимальний тиск насоса на стартовому режимі ( $n = 120$ об./хв.), $\text{кг/см}^2$ | Час набору тиску 800 $\text{кг/см}^2$ на стартовому режимі ( $n = 120$ об./хв.), с | Максимальне коливання тиску між секціями насосу ( $n = 300$ об./хв.), $\text{кг/см}^2$ |
|-------|------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|       | при тиску 300 $\text{кг/см}^2$                 | при тиску 1200 $\text{кг/см}^2$ |                                                                            |                                                                                      |                                                                                    |                                                                                        |
| 1     | 2                                              | 3                               | 4                                                                          | 5                                                                                    | 6                                                                                  | 7                                                                                      |
| 1     | 114                                            | 97                              | 14,9                                                                       | 980                                                                                  | 3,3                                                                                | 29                                                                                     |
| 2     | 115                                            | 100                             | 13,0                                                                       | 1050                                                                                 | 2,8                                                                                | 23                                                                                     |
| 3     | 119                                            | 111                             | 6,7                                                                        | 1165                                                                                 | 1,95                                                                               | 15                                                                                     |
| 4     | 111                                            | 87                              | 21,6                                                                       | 790                                                                                  | -                                                                                  | 46                                                                                     |
| 5     | 117                                            | 104                             | 11,1                                                                       | 1080                                                                                 | 2,5                                                                                | 20                                                                                     |
| 6     | 113                                            | 92                              | 18,6                                                                       | 860                                                                                  | 4,6                                                                                | 42                                                                                     |

## Продовження таблиці 2.1

|    |     |     |      |      |      |    |
|----|-----|-----|------|------|------|----|
| 7  | 120 | 113 | 5,8  | 1180 | 1,95 | 14 |
| 8  | 120 | 113 | 5,8  | 1165 | 1,95 | 15 |
| 9  | 120 | 115 | 4,2  | 1230 | 1,8  | 12 |
| 10 | 114 | 97  | 14,9 | 940  | 3,2  | 30 |
| 11 | 113 | 94  | 16,8 | 920  | 3,4  | 31 |
| 12 | 119 | 110 | 7,6  | 1150 | 2,0  | 17 |
| 13 | 118 | 106 | 10,2 | 1110 | 2,3  | 18 |
| 14 | 109 | 79  | 27,5 | 705  | -    | 48 |
| 15 | 110 | 85  | 22,7 | 730  | -    | 48 |

Під час першого експерименту було зафіксовано показники технічно справного ПНВТ із встановленими плунжерними парами № 3, 8 та 9, що характеризуються високою гідравлічною щільністю. За результатами аналізу зміни продуктивності та часу наростання тиску на пусковому режимі встановлено, що насос відповідає встановленим нормативним вимогам.

У режимі максимального прискорення на п'ятій передачі коефіцієнт заповнення (скважність) керуючого сигналу регулятора тиску палива становить близько 40 % (рис. 2.7), при цьому максимальний тиск палива досяг  $1300 \text{ кг/см}^2$ .

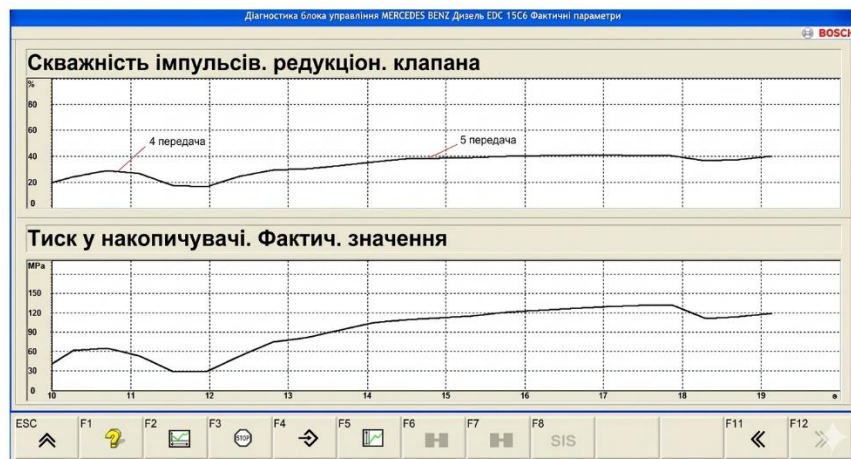


Рис. 2.7. Графічні залежності зміни скажності сигналу регулятора та тиску палива в акумуляторі справного ПНВТ.

Програмне забезпечення електронного блока керування двигуном задає значення скажності сигналу регулятора залежно від тиску в паливному акумуляторі. У разі відхилення цього параметра від установлених меж блок

керування переводить систему в аварійний режим або припиняє подачу палива з подальшою зупинкою двигуна.

Відповідно до ремонтної документації Bosch SIS/CAS, при тиску  $1300 \text{ кг/см}^2$  скважність керуючого сигналу регулятора тиску палива повинна перебувати в межах 35-55 % [2]. З наведеного графіка видно, що фактичне значення відповідає нормативному діапазону. Наявність запасу до верхньої граничної межі свідчить про те, що даний паливний насос має резерв продуктивності подачі палива за зазначеного тиску.

Отже, шляхом вимірювання тиску палива в паливному акумуляторі та аналізу відповідної скважності сигналу на регуляторі тиску було підтверджено працездатність паливного насоса з установленими плунжерними парами № 3, 8 і 9.

У ході наступного експерименту фіксувалися показники технічно несправного ПНВТ, оснащеного плунжерними парами № 4, 14 і 15 зі зниженою гідравлічною щільністю. За результатами оцінки продуктивності та часу наростання тиску в пусковому режимі цей насос не відповідав встановленим нормативним вимогам.

Як свідчать графіки тиску та скважності (рис. 2.8), за умов, аналогічних першому експерименту, насос зміг досягти лише  $900 \text{ кг/см}^2$ , при цьому скважність керуючого сигналу регулятора становила 80 %.

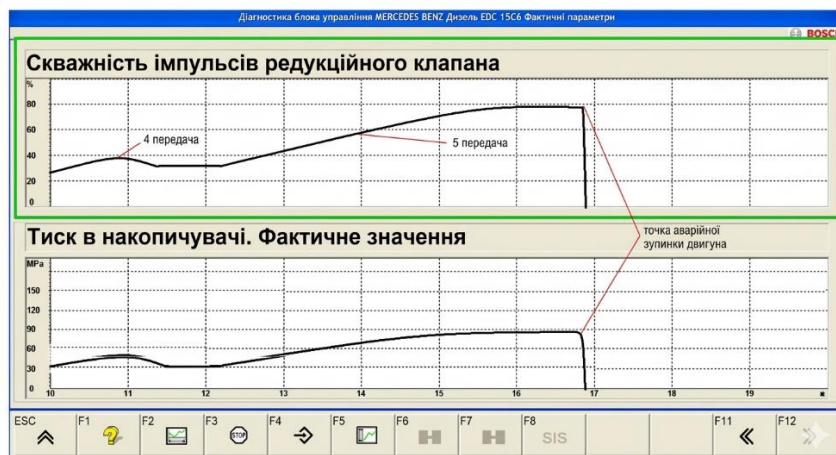


Рис. 2.8. Графіки варіації коефіцієнта заповнення сигналу регулятора та тиску палива в акумуляторі несправного ПНВТ.

Оскільки це значення скважності виходило за допустимі межі, електронний блок керування двигуном аварійно припинив подачу палива, знизив тиск у системі та зупинив двигун.

Таким чином, що аналіз значень тиску палива, зафіксованих датчиком, разом зі скважністю сигналу регулятора тиску на різних швидкісних режимах роботи двигуна дозволяє об'єктивно оцінити технічний стан паливного насоса.

Аналізуючи показники скважності сигналу регулятора та тиску пального в акумуляторі системи ПНВТ, можна зробити висновок про технічну справність насоса системи живлення Common Rail без потреби його демонтажу з двигуна за умови підключення діагностичного обладнання безпосередньо до автомобіля. Якщо ж така можливість відсутня, перевірку виконують на спеціалізованому стенді.

Результати обстеження технічного стану паливного насоса високого тиску Bosch 0445010008 засвідчили, що обидва методи є рівнозначними за отриманими результатами. Водночас стендовий спосіб діагностики виявився більш простим у виконанні та менш трудомістким.

### **2.3. Технічне обслуговування та очищення форсунок**

Під час початкового етапу обслуговування форсунок здійснюють очищення її зовнішніх частин в ультразвуковій ванні (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Ультразвукова ванна.

При цьому необхідно стежити, щоб електромагнітна котушка не контактувала з рідиною, оскільки її занурення може призвести до пошкодження ізоляції та виходу з ладу

Якщо корпус форсунки сильно забруднений, перед ультразвуковою очисткою його рекомендується витримати кілька годин у спеціальному хімічному розчині для розм'якшення відкладень (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Ванна з хімічним очищувачем.

Після цього залишки забруднень видаляють за допомогою струменя води під підвищеним тиском для повного очищення поверхні (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Мийка форсунок під високим тиском.

На початковому етапі діагностики здійснюють візуальний огляд форсунки для оцінки її зовнішнього технічного стану. Особливу увагу

приділяють цілісності корпусу та штуцерів високого тиску, перевіряючи наявність тріщин, слідів прогару, механічних деформацій, а також пошкоджень або зривів різьбових поверхонь.

Під час огляду легко виявити форсунки, які раніше проходили неякісний або непрофесійний ремонт. Такі вироби потребують детальнішої дефектоскопії, оскільки після некваліфікованого втручання вони часто втрачають здатність до подальшого відновлення.

Прикладами некоректного ремонту є:

- надмірне деформування корпусу під час розбирання, що може спричинити руйнування гайки розпилювача при впливі згинальних навантажень (рис. 2.12);
- спроби усунення витoku газів із камери згоряння за допомогою побутових матеріалів, наприклад сантехнічної замазки (рис. 2.13).



Рис. 2.12. Погнуті під час демонтажу корпусу форсунок



Рис. 2.13. Наслідки неправильного встановлення форсунок.

Після зовнішнього огляду форсунку перевіряють на стенді за допомогою вхідного контролю. Для цього використовується спеціальна випробувальна установка, яка створює необхідний тиск у паливній магістралі, а електромагнітний клапан керується імпульсом від електронного діагностичного пристрою Common Rail Tester (рис. 2.14).



Рис. 2.14. Прилад для перевірки форсунок Common Rail Tester.

Після подачі імпульсу електромагнітний клапан відкривається, і паливо під високим тиском впорскується через розпилювач форсунки. На стенді фіксують кількість палива, що впорскується, а також форму та якість факела розпилення.

Крім того, контролюють швидкість відкриття і закриття клапана, час упорскування та витрати палива на різних режимах роботи. За результатами вимірювань визначають справність форсунки та її відповідність технічним параметрам виробника. У разі виявлення відхилень форсунку ремонтують або замінюють на справну.

На стенд встановлюють відповідний перехідник, що забезпечує герметичне та надійне кріплення форсунки. Для перевірки герметичності гідросистеми форсунок застосовують режим із середньою тривалістю

керуючого сигналу та підвищеною частотою спрацьовування інжектора, що дозволяє виявити навіть незначні втрати ущільнення.

Щоб оцінити стан розпилювача наявність забруднень або надмірного зношення соплових отворів використовується інший алгоритм: тривалий керуючий імпульс при низькій частоті спрацьовування, що дає змогу детально аналізувати форму та рівномірність паливного факела.

#### **2.4. Аналіз впливу роботи форсунок на показники роботи дизельного двигуна**

Форсунка в дизельному двигуні виконує надзвичайно важливу функцію забезпечує точне дозування палива, його своєчасне впорскування в камеру згоряння та якісне розпилення, що створює необхідні умови для повного і контрольованого процесу згоряння. Від характеристик роботи форсунок безпосередньо залежать індикаторні та ефективні показники двигуна, такі як потужність, крутний момент, питома витрата палива, рівень токсичності відпрацьованих газів, шумність і теплове навантаження.

У сучасних системах живлення, зокрема типу Common Rail, параметри роботи форсунок контролюються електронною системою управління, що дозволяє реалізовувати багаторазове впорскування протягом одного робочого циклу та гнучко керувати процесом згоряння. На рисунку 2.15 схематично зображено конструкцію типової дизельної форсунки (2.15 а) та характер формування паливного факела (2.15 б).

Швидкодія форсунки системи Common Rail (CR) під час роботи дизельного двигуна визначається чотирма ключовими складовими паливної системи [2]:

- електронним блоком керування (ЕБК), зокрема параметрами керуючого сигналу, що подається;
- керуючим електромагнітом його інерційністю, тобто часом спрацьовування та розмагнічування;

- керуючим клапаном швидкістю відкривання та закривання;
- голкою розпилювача тривалістю її опускання та піднімання.

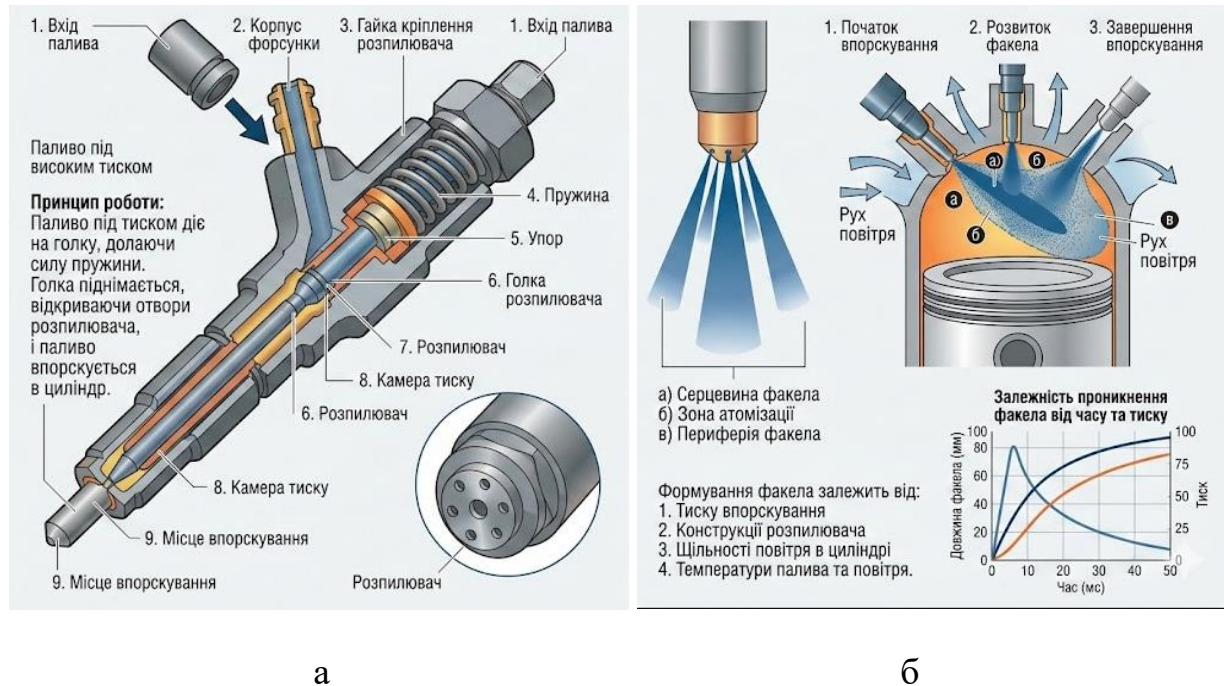


Рис. 2.15. Конструкція інжектора: а – принцип роботи ; б- характер формування паливного факела.

Аналіз отриманих результатів дослідження впливу тривалості управляючого сигналу на основні характеристики регулювання подачі палива дозволив розділити весь процес подачі палива на кілька послідовних етапів [3]:

1. Перший етап ( $t_1$ ) включає швидкість спрацьовування електромагніту та час підняття якоря й голки розпилювача;
2. Другий етап ( $t_2$ ) охоплює час розмагнічування електромагніту та опускання якоря й голки розпилювача.

На рисунку 2.16 зображена схема розрахунку тривалості керуючого імпульсу відповідно ЕГФ типу CR фірми Bosch.

Для розрахунку тривалості переміщення якоря та голки розпилювача застосовується формула:

$$\begin{cases} t_{\text{впр.}} = t_c - t_1 + t_2; \\ t_1 = t_{c.e} + t_{\text{п.я.}} + t_{\text{п.г.}}; \\ t_2 = t_{\text{р.е.}} + t_{\text{о.я.}} + t_{\text{о.г.}} \end{cases}$$

де  $t_c$  – тривалість керуючого імпульсу в мкс;

$t_{\text{впр.}}$  – тривалість самого впорскування, мкс;

$t_{c.e}$  – час спрацювання електромагніту, мкс;

$t_{\text{п.я.}}$  – час підйому якоря, мкс;

$t_{\text{п.г.}}$  – час підйому голки розпилювача, мкс;

$t_{\text{р.е.}}$  – час розмагнічування електромагніту, мкс;

$t_{\text{о.я.}}$  – час опускання якоря, мкс;

$t_{\text{о.г.}}$  – час опускання голки розпилювача, мкс.

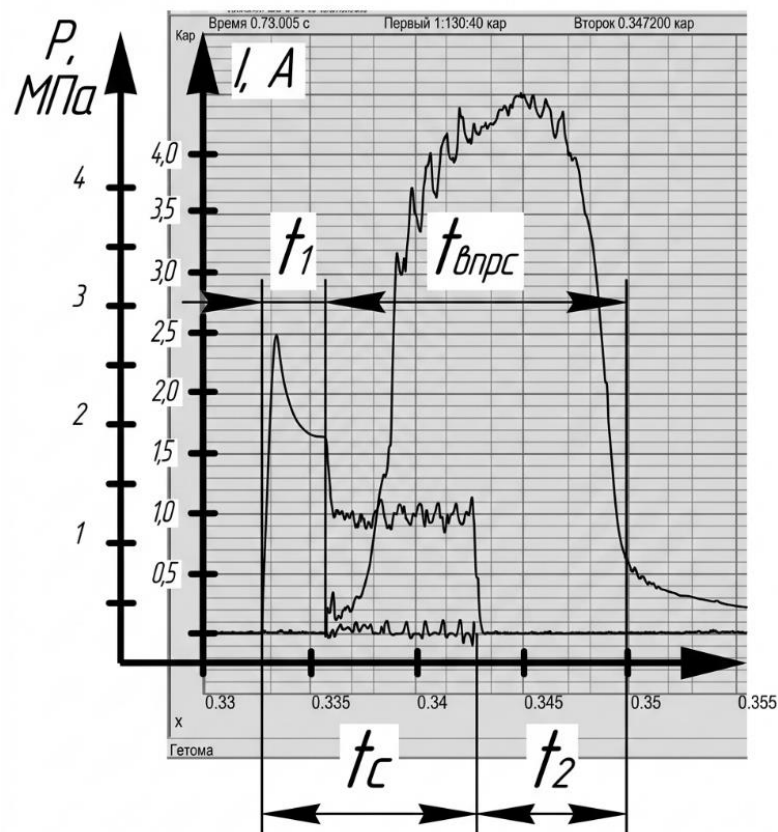


Рис. 2.16. Схема розрахунку тривалості керуючого імпульсу ЕГФ фірми

Bosch:  $t_c$  – тривалість керуючого імпульсу, мкс;  $t_{\text{впр.}}$  – тривалість впорскування, мкс.

Для визначення тривалості переміщення якоря та голки розпилювача використовуємо формулу:

$$M \times \frac{d^2 h}{dt^2} = \sum N$$

де  $M$  – маса рухомого елемента (якір, голка розпилювача), кг;

$\sum N$  – сума сил, що діють на рухомий елемент, Н.

Рух голки форсунки здійснюється під впливом сил, що визначаються пружністю розпилювальної пружини та силою її притиску до сідла, які прагнуть утримати голку на місці, а також тиском палива, який спрямований на відрив клапана від сідла (рис. 2.17) [2].

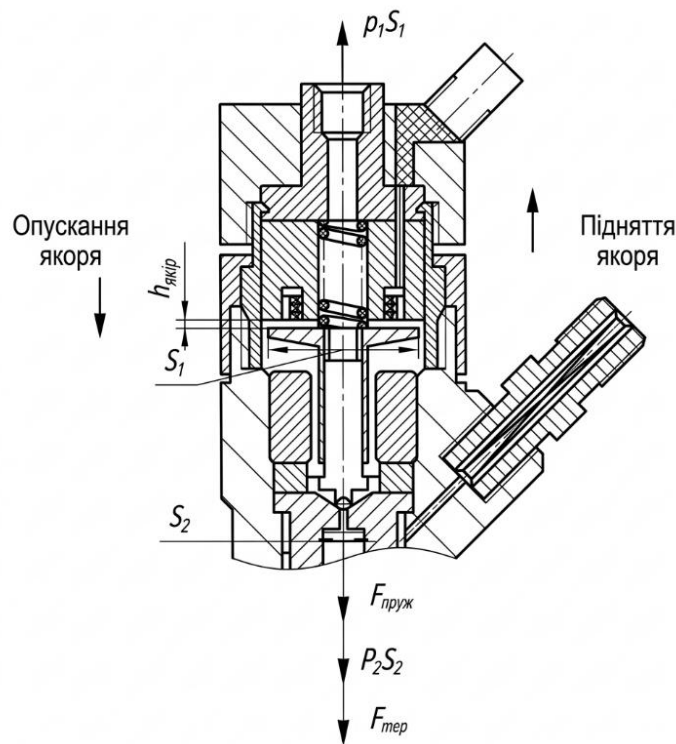


Рис. 2.17. Схема напрямків сил, які діють на якір електрогідравлічної форсунки.

Аналізуючи всі ці сили, що діють на якір електромагнітного форсункового клапана (ЕГФ) типу CR, і підставляючи їх у формулу, отримуємо рівняння, яке описує рух (підняття) голки розпилювача:

$$M_{\Gamma} \times \frac{d^2 h_{\Gamma}}{dt_{\text{п.г.}}^2} = P_1 \cdot S_1^{\Gamma} - P_2 \times S_2^{\Gamma} - F_{\text{п.з.}}^{\Gamma} - C_{\text{п.р.}} \cdot h_{\Gamma}$$

де  $M_{\Gamma}$  – сумарна маса голки розпилювача (зі штангою та 1/3 пружини розпилювача), кг;

$h_{\Gamma}$  – хід голки розпилювача, м;

$t_{\Gamma}$  – час підняття голки розпилювача, сек.;

$P_1$  – атмосферний тиск (протитиск), Па;

$S_1^{\Gamma}$  – площа поперечного перерізу голки розпилювача, м<sup>2</sup>;

$P_2$  – тиск у керуючій порожнині, Па;

$F_{п.з.}^{\Gamma}$  – сила попередньої зтяжки пружини розпилювача, Н;

$C_{п.р.}$  – жорсткість пружини розпилювача, Н/м.

Оскільки рух голки розпилювача рівноприскорений прямолінійне без початкової швидкості час підняття розпилювача з урахуванням формули матиме такий вигляд:

$$t_{п.г.} = \sqrt{\frac{2 \times h_{\Gamma} \cdot M_{\Gamma}}{P_1 \cdot S_1^{\Gamma} + P_2 \cdot S_2^{\Gamma} + F_{п.з.}^1 + C_{п.р.} \cdot h_{\Gamma}}}$$

Рівняння, що моделює процес підйому голки розпилювача.

$$M_{\Gamma} \cdot \frac{d^2 \cdot h_{\Gamma}}{dt_{п.г.}^2} = P_1 \cdot S_1^{\Gamma} + P_2 \cdot S_2^{\Gamma} + F_{п.з.}^1 + C_{п.р.} \cdot h_{\Gamma}$$

де,  $M_{\Gamma}$  – сумарна маса голки розпилювача (зі штангою та 1/3 пружини розпилювача), кг;

$h_{\Gamma}$  – хід голки розпилювача, м;

$t_{\Gamma}$  – час підняття голки розпилювача, с.;

$P_1$  – атмосферний тиск (протитиск), Па;

$S_1^{\Gamma}$  – площа поперечного перерізу голки розпилювача, м<sup>2</sup>;

$P_2$  – тиск у керуючій порожнині, Па;

$F_{п.з.}^1$  – сила попередньої зтяжки пружини розпилювача, Н;

$C_{п.р.}$  – жорсткість пружини розпилювача, Н/м.

Отримаємо:

$$t_{о.г.} = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{\Gamma} \cdot M_{\Gamma}}{P_1 \cdot S_1^{\Gamma} - P_2 \cdot S_2^{\Gamma} - F_{п.з.}^1 - C_{п.р.} \cdot h_{\Gamma}}}$$

## Висновки до розділу II

В розділі було розглянуто принцип роботи акумуляторної паливної системи типу Common Rail та основних елементів системи.

Визначено процес діагностики роботи дизельного двигуна та визначено основні етапи перевірки його технічного стану та встановлено, що діагностику доцільно розпочинати з перевірки рівня моторного масла.

Конструктивною особливістю системи CR є незалежність процесу подачі палива від процесу його впорскування, що дає змогу здійснювати впорскування без прив'язки до положення розподільного валу.

Обґрунтовано технологічне обладнання, що використовується для ремонту та очищення форсунок. Проаналізовано методи їх очищення (ультразвуковий, хімічний, високим тиском).

Визначено що перевага комп'ютерної діагностики полягає в точності, швидкості та можливості отримати повну картину роботи паливної системи без розбирання обладнання.

Аналізом впливу роботи форсунок на показники роботи дизельного двигуна визначено рівняння, що моделює процес підйому голки розпилювача, а саме рівноприскорений прямолінійний рух без початкової швидкості.

## РОЗДІЛ III РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ

### 3.1 Обладнання для діагностики та технічного обслуговування акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів

Акумуляторні паливні системи дизельних двигунів (також відомі як системи Common Rail або інжекторні системи високого тиску) забезпечують подачу палива під високим тиском у циліндри двигуна. Для їх ефективної роботи та тривалого ресурсу необхідно регулярне технічне обслуговування та діагностика. Це включає перевірку паливних насосів, форсунок, регуляторів тиску, фільтрів та електронних блоків керування.

Вивчення ефективності батарейних паливних механізмів із цифровим контролем розподілу енергоносія, при якому тиск інжектора досягає 300 мегапаскалів, проводилося за допомогою спеціалізованого обладнання, показано на рисунку 3.1.

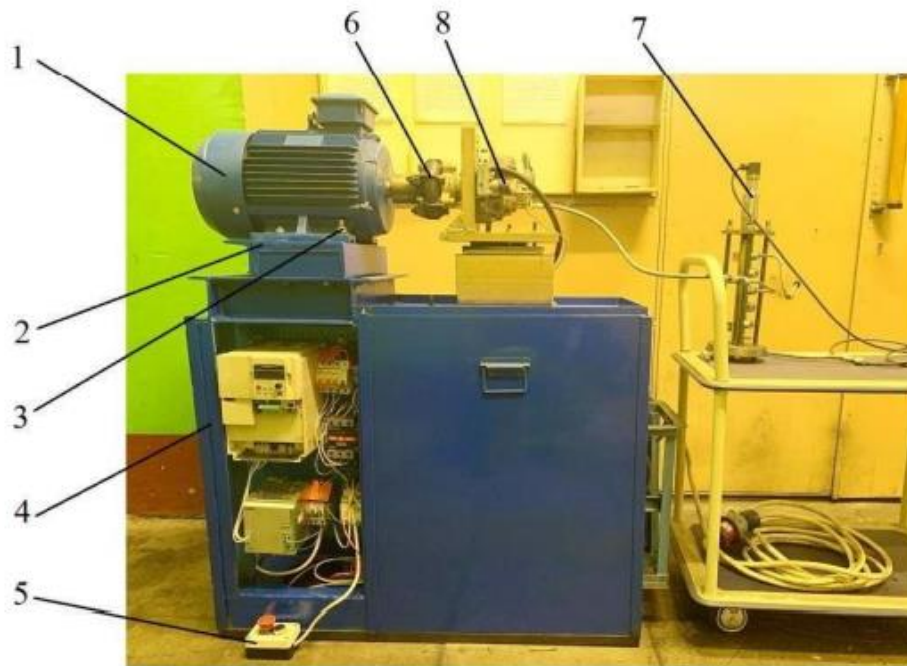


Рис. 3.1. Лабораторний стенд для випробування систем згоряння:  
1 – електромотор; 2 – підставка для мотора; 3 – кріплення мотора; 4 – опорна рама; 5 – аварійний вимикач; 6 – з'єднувальний елемент; 7 – паливний бак;  
8 – насос високого тиску для палива.

Конструкція агрегату – стенд без двигуна, обладнаний пристроями для тестування системи подачі палива батарейного типу з цифровим керуванням:

- з включенням інвертора для зміни частоти (контроль швидкості обертання мотора) в трьохфазному асинхронному моторі, загальною потужністю 11 кіловат ( $n = +1445$  об/хв);

- включеним інвертором для перетворення частоти (налаштування швидкості обертання мотора) в трьохфазному асинхронному моторі з потужністю 11 кіловат ( $n = +1445$  об/хв);

Система включає додаткову фільтрацію палива та клапан для регулювання тиску високотискний паливний насос, що має вбудований бак для підсилення різьбових з'єднань, а також застосування датчика високого тиску та датчика обертів валу високотискного насоса палива.

Стенд без вбудованого двигуна оснащений високотисковою системою (рис. 3.2), призначеною для тестування паливних механізмів і перевірки роботи устаткування подачі палива.

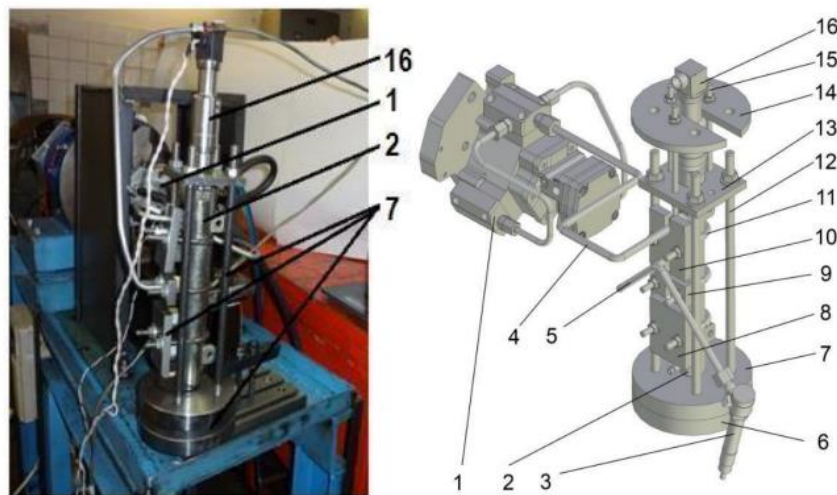


Рис. 3.2. Схема високотемпературної лінії тестового обладнання для перевірки паливних механізмів: 1 – високотискний паливний насос; 2 – паливний бак; 3 – гідрофільтрувальний елемент; 4, 5 – трубопровідні магістралі; 6, 7 – опори для фіксації; 8, 9, 10, 13 – стискаючі металеві пластини; 11 – сходи; 12 – кріпильний болт бака; 14 – опорна пластина для монтажу датчика тиску; 15 – кріпильні болти датчика тиску; 16 – датчик тиску.

Для аналізу характеристик функціонування системи при підвищених тисках (до 300–400 МПа) стандартний бак додатково обладнаний конструкцією з болтів та металевих пластин.

Стенд, у комплектації якого не передбачено вбудованого двигуна, обладнаний високотискною системою, призначеною для випробування елементів паливоподачі під час тестування паливних агрегатів. Для дослідження параметрів роботи паливної системи за підвищених тисків (до 300–400 МПа) стандартний паливний бак додатково укомплектовують спеціальною конструкцією, що складається з болтів і металевих пластин.

Для забезпечення стабільної та точної роботи паливної системи застосовується експериментальна цифрова система керування, яка здійснює аналіз параметрів за допомогою спеціально розроблених тестових програм. Ці програми створені для стендів, призначених для перевірки поширених моделей паливної апаратури, і формують сигнали, що відрізняються від сигналів штатної електронної системи керування двигуном.

Колінчастий вал насоса високого тиску з'єднаний через спеціальний з'єднувальний елемент із трифазним електродвигуном потужністю 11 кВт, який працює зі швидкістю 1500 обертів за хвилину.

Регулювання роботи електродвигуна здійснюється за допомогою векторного частотного перетворювача, який може працювати у двох режимах: у режимі векторного керування струмом або в режимі керування за співвідношенням напруги до частоти ( $U/f$ ).

Паливну систему під час тестових випробувань можна контролювати в одному з трьох режимів:

- повне ручне керування користувачем через комп'ютер;
- напівавтоматичний режим, у якому тривалість подачі палива визначається датчиками кутової синхронізації відповідно до заданого кута передвиприску;
- повністю автоматизоване керування на основі калібрувальних даних, що зберігаються в мікропроцесорі.

Форма та кількість керуючих імпульсів реєструються шляхом відстеження змін керуючої напруги  $U_f$  за допомогою цифрового осцилографа моделі АКИП-4116/2 (рис. 3.3).

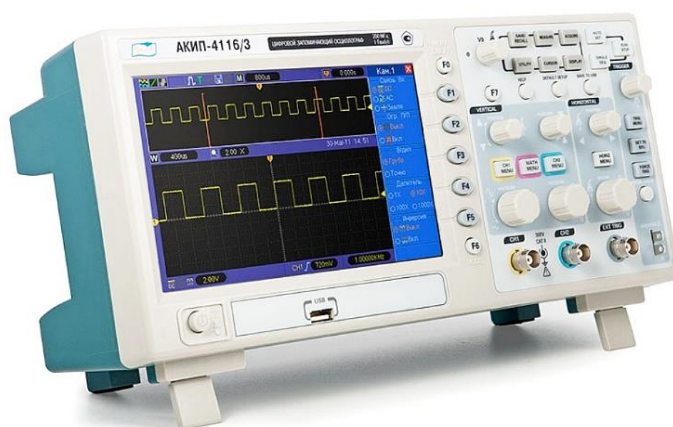


Рис. 3.3. Цифровий запам'ятовуючий осцилограф серії АКИП-4116.

АКИП-4116/2 – двоканальний цифровий запам'ятовуючий осцилограф серії АКИП-4116, розроблений для лабораторних, навчальних і сервісних задач, де потрібен аналіз часових і частотних характеристик електричних сигналів. Прилад має два входи (два канали), що дозволяє одночасно спостерігати й аналізувати два сигнали.

Частота дискретизації в режимі реального часу досягає 1 ГГц, що означає, що прибор здатний «захоплювати» сигнали з достатньою роздільною здатністю для аналізу імпульсів і швидких змін.

Пам'ять осцилографа дає змогу зберігати до 512 кіловибірок на канал; при переході в одноканальний режим до 1 мегавибірки. Це дозволяє фіксувати тривалі або складні сигнали для подальшого аналізу.

Інтерфейс дозволяє не лише одноразову реєстрацію, але й покадрову осциллограму можна записувати і зберігати до 1000 кадрів, з можливістю їхнього відтворення. Крім цього, прилад підтримує автоматичні вимірювання ряду параметрів сигналу, а також курсорні вимірювання (наприклад,  $\Delta U$ ,  $\Delta T$ , частота і т.д.).

Для подачі палива до насоса високого тиску стенд обладнано електричним насосом, що працює від джерела постійного струму з напругою

12 В. Перед надходженням до високотискного насоса паливо додатково очищується фільтром тонкої очистки.

У таблиці 3.1 наведено основні прилади та методи, які застосовуються під час тестування, контролю й вимірювань.

Таблиця 3.1.

Пристрої та устаткування для випробувань акумуляторної системи подачі палива дизельних двигунів

| №  | Назва приладу / обладнання                    | Призначення / Функція                                                    |
|----|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Цифровий осцилограф                           | Вимірювання та аналіз сигналів тиску та імпульсів у системі паливоподачі |
| 2  | Манометр високого тиску                       | Контроль робочого тиску палива в системі                                 |
| 3  | Датчик тиску палива                           | Відстеження динаміки тиску у паливній рампі                              |
| 4  | Витратомір палива                             | Визначення кількості поданого палива під час тесту                       |
| 5  | Електронний блок керування (ЕБУ)              | Синхронізація роботи двигуна та моніторинг параметрів системи            |
| 6  | Генератор імпульсів                           | Моделювання імпульсів керування паливним насосом                         |
| 7  | Стендова система підключення паливних насосів | Тестування насосів під тиском і різними режимами роботи                  |
| 8  | Температурні датчики                          | Вимірювання температури палива та компонентів системи                    |
| 9  | Комп'ютер із спеціальним ПЗ                   | Запис і обробка даних, побудова графіків та аналіз характеристик         |
| 10 | Вакуумний насос / система зворотного тиску    | Моделювання робочих умов і перевірка герметичності паливної системи      |

### 3.2 Визначення рівня забруднення елемента паливного фільтра тонкого очищення

Рівень забруднення елемента паливного фільтра тонкого очищення визначають за ступенем накопичення механічних домішок, продуктів зношування та смолистих відкладень у фільтрувальному матеріалі, що призводить до зменшення його пропускної здатності та зростання гідравлічного опору.

Практично це оцінюють за зміною тиску палива до і після фільтра: чим більша різниця тисків, тим вищий ступінь засмічення елемента. Також про

забруднення свідчать перебої в роботі двигуна, зниження потужності, ускладнений запуск та підвищене навантаження на паливний насос. У сучасних системах застосовують датчики перепаду тиску, які дозволяють об'єктивно визначити момент, коли фільтрувальний елемент досягає граничного рівня забруднення і потребує заміни.

Паливна система дизельного двигуна або двигуна внутрішнього згоряння загалом потребує якісного очищення палива для забезпечення нормальної роботи.

Одним із основних елементів очищення палива є паливний фільтр тонкого очищення, який забезпечує видалення дрібних частинок бруду, продуктів корозії та інших механічних домішок із палива. Своєчасне визначення рівня забруднення цього елемента є критично важливим для запобігання неполадкам системи паливоподачі, зниження ефективності двигуна або його пошкодження.

Для забезпечення точної та своєчасної діагностики ступеня забруднення фільтруючого елемента була створена спеціалізована система моніторингу, яка використовує калібратор тиску "Метран" (рис. 3.4).

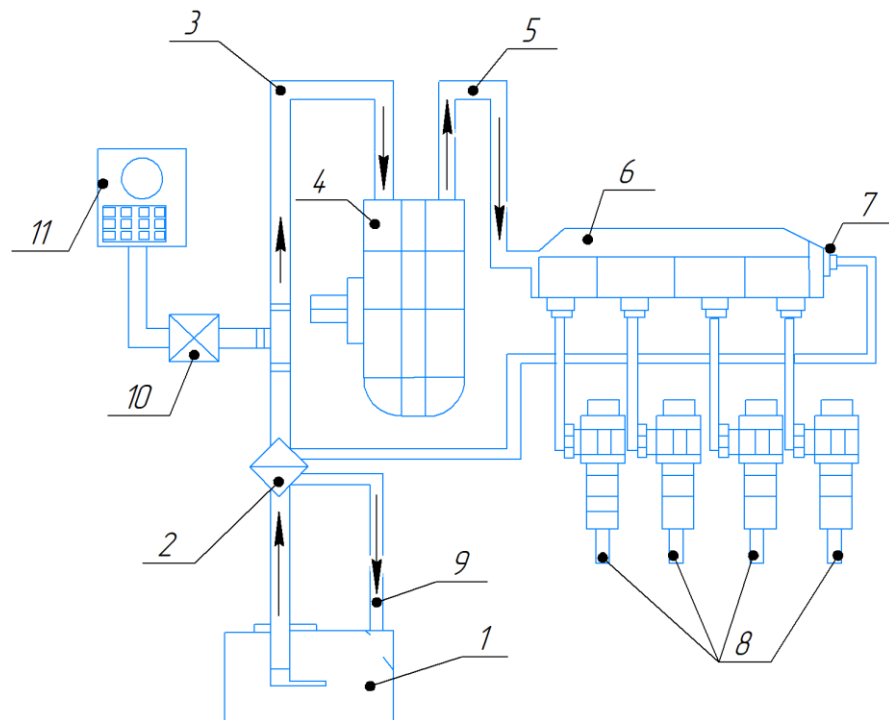


Рис. 3.4 Концептуальна модель системи моніторингу тонкого фільтрування палива.

Вона включає паливний бак, фільтр для тонкого очищення дизельного палива, низько- та високотискові магістралі, паливний насос високого тиску (ПНВТ), паливну рампу, клапан для контролю потоку палива, інжектори, магістраль для зворотного потоку палива, електромагнітний клапан і сам калібратор тиску.

Завдяки цьому комплексному обладнанню система дозволяє ефективно контролювати стан фільтра та якість палива, що забезпечує стабільну та оптимальну роботу двигуна.

Прилад Метран, призначений для вимірювання тиску, розташований у кабіні водія. Електромагнітний клапан використовується для тимчасового підключення калібратора Метран, оскільки прилад не призначений для безперервної експлуатації.

Контроль стану фільтра в двигуні внутрішнього згоряння здійснюється наступним чином. Під час роботи двигуна з системою подачі палива Common Rail паливо надходить з бака 1 у систему завдяки вакууму, що створюється паливним насосом високого тиску 4. Паливо проходить через фільтр 2, де відбувається його очищення від смолистих утворень, парафінів та механічних і інших домішок, після чого воно надходить до паливної рампи 6.

У процесі експлуатації фільтр 2 забивається абразивними частинками, механічними домішками, а також закоксується важкими смолами та парафіном, що містяться в паливі. Це викликає утворення вакууму у паливопроводі після фільтра 2 і перед паливним насосом 4.

Під час роботи двигуна ступінь забруднення фільтруючого елемента фільтра 2 безпосередньо впливає на величину вакууму в паливопроводі між фільтром і насосом. Детальні результати проведених експериментів наведені у таблиці 3.2.

Вимірювання змін вакууму здійснює калібратор тиску Метран 11. Для цього в паливопроводі після фільтра 2 використовується електромагнітний клапан 10, який відкриває канал подачі вакууму до калібратора. Керування електромагнітним клапаном 10 здійснює водій безпосередньо з кабіни

автомобіля. Запропонована технічна концепція адаптована для автомобіля з системою подачі палива Common Rail (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Впровадження запропонованої технічної концепції на практиці.

Таблиця 3.2.

Інформація про варіації тиску в паливній системі залежно від пройденої автомобілем відстані та умов роботи двигуна.

| №<br>фільтра | Режим                | Розрідження, мБар |                |                |
|--------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------|
|              |                      | Пробіг 0 км       | Пробіг 10000км | Пробіг 20000км |
| 1            | 2                    | 3                 | 4              | 5              |
| 1            | Холостий хід         | 50,5              | 76             | 118            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 51,5              | 78             | 119            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 52                | 79             | 119            |
| 2            | Холостий хід         | 49                | 75             | 120            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 50,5              | 76             | 122            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 51                | 77             | 123            |
| 3            | Холостий хід         | 50                | 80             | 114            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 51                | 81             | 112            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 54                | 83             | 111            |
| 4            | Холостий хід         | 53                | 73             | 118            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 52                | 74             | 119            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 53                | 75             | 119            |
| 5            | Холостий хід         | 50                | 15             | 121            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 50,5              | 79             | 122            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 51                | 79             | 123            |
| 6            | Холостий хід         | 51                | 76             | 119            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 52                | 77             | 120            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 52                | 78             | 120            |
| 7            | Холостий хід         | 49                | 75             | 122            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 50                | 77             | 125            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 53                | 78             | 125            |
| 8            | Холостий хід         | 52                | 80             | 121            |
|              | 1400хв <sup>-1</sup> | 52                | 81             | 121            |
|              | 2000хв <sup>-1</sup> | 55                | 82             | 121            |

Продовження таблиці 3.2

|    |                      |    |    |     |
|----|----------------------|----|----|-----|
| 9  | Холостий хід         | 53 | 70 | 110 |
|    | 1400хв <sup>-1</sup> | 53 | 70 | 110 |
|    | 2000хв <sup>-1</sup> | 54 | 71 | 110 |
| 10 | Холостий хід         | 51 | 65 | 105 |
|    | 1400хв <sup>-1</sup> | 51 | 66 | 105 |
|    | 2000хв <sup>-1</sup> | 52 | 66 | 105 |

### 3.3 Удосконалення систем енергоживлення шляхом застосування акумуляторних технологій

На основі проведеного дослідження впливу розмірів параметрів та конструкції електрогидравлічної форсунки (ЕГФ) на ефективність впорскування були запропоновані рекомендації щодо вдосконалення її конструкції. Регулювання роботи форсунки можливе через налаштування характеристик сигналу, що подається на електромагнітний клапан. Водночас цей підхід обмежений швидкістю реакції драйвера керуючого клапана та можливостями системи управління.

Для покращення техніки пропонується застосування ЕГФ із двома керуючими клапанами (рис. 3.6). Така конструкція дозволяє також регулювати подачу паливної суміші відповідно до умов роботи дизельного двигуна.

Запропонована модель електрогидравлічного форсункового (ЕГФ) модуля створена для роботи в мультипаливній акумуляторній системі, що містить два резервуари для зберігання дизельного пального та альтернативного виду палива. Система оснащена двома паливоперекачувальними насосами, двома високотисковими паливними системами, двома паливними акумуляторами з максимальним тиском до 300 МПа та високотисковими трубопроводами.

Регулюючий клапан разом із електромагнітом розташований у верхній частині корпусу ЕГФ. Після подачі керуючого сигналу на електромагніт клапан відкривається, піднімаючи голку розпилювача та забезпечуючи

подачу дизельного та альтернативного палива у вигляді суміші через проміжок між блокуючим конусом і корпусом розпилювача до циліндра двигуна. Дизельне пальне надходить у ЕГФ через канал від акумулятора дизельного пального, після чого потрапляє до каналу і керуючої камери через вхідний жиклер.

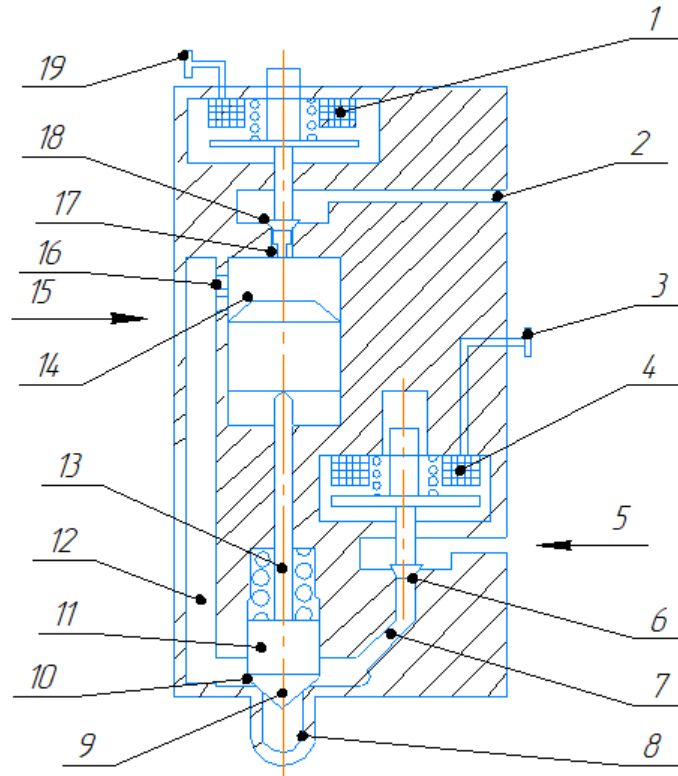


Рис. 3.6. Прогресивний дизайн ЕГФ: 1 – електродвигун для управління клапаном; 2 – шлях відведення дизельного пального (ДП); 3 – електричні контакти електродвигуна блокуючого клапана; 4 – електродвигун блокуючого клапана; 5 – трубопровід для постачання альтернативного пального з акумулятора альтернативного пального в ЕГФ; 6 – блокуючий клапан; 7 – трубопровід альтернативного пального; 8 – оболонка розпилювача; 9 – конічна частина; 10 – основа блокуючого конуса; 11 – голка розпилювача; 12 – трубопровід подачі ДП до блокуючого конуса голка розпилювача; 13 – підсилювач; 14 – керуюча камера; 15 – трубопровід для постачання ДП з акумулятора ДП в ЕГФ; 16 – вхідний жиклер керуючої камери; 17 – вихідний жиклер керуючої камери; 18 – регулюючий клапан; 19 – електричні контакти електродвигуна регулюючого клапана.

Управлінська камера сполучена з системою рециркуляції пального через вихідний жиклер, куди дизельне пальне надходить у систему рециркуляції при відкритому регулюючому клапані. Коли регулюючий клапан закритий, гідравлічний тиск на підсилювач перевищує тиск, що діє на іглу розпилювача та блокуючий конус.

В результаті блокуючий конус голки щільно прилягає до сидіння оболонки розпилювача, перекриваючи шлях високотискового дизельного пального до оболонки розпилювача і, відповідно, у циліндри двигуна. Блокуючий клапан працює під впливом різниці тисків: тиск у трубопроводі подачі альтернативного пального до блокуючого конуса голки розпилювача відповідає тиску всередині корпусу ЕГФ та акумулятора дизельного пального, тоді як тиск перед клапаном у трубопроводі 5 дорівнює тиску в акумуляторі альтернативного пального.

При цьому тиск у трубопроводі 5 на 25 % перевищує тиск у трубопроводах 15, 12 і 7, що подають дизельне та альтернативне пальне до основи блокуючого конуса голки розпилювача ЕГФ.

Коли електричний сигнал перестає надходити до електромагніту блокуючого клапана, він закривається під дією різниці тисків, зупиняючи потік альтернативного палива у трубопровід 7. При подачі керуючого сигналу через електричні клеми на електромагніт регулюючого клапана, клапан відкривається, дозволяючи дизельному пальному з керуючої камери надходити у систему відведення палива через вихідний жиклер. Це знижує тиск у керуючій камері, що веде до зменшення гідравлічного тиску, який впливає на підсилювач.

Оскільки гідравлічний тиск на підсилювач стає меншим, ніж тиск на основі блокуючого конуса голки розпилювача, голка активується, піднімається і забезпечує подачу суміші дизельного та альтернативного палива через проміжок між блокуючим конусом голки та оболонкою розпилювача до циліндра двигуна.

Таким чином, наявність електромагнітного блокуючого клапана та додаткової паливної лінії для альтернативного палива дозволяє змішувати дизельне та альтернативне паливо біля основи блокуючого конуса голки, після чого суміш подається у проміжок між конусом і розпилювачем. Склад суміші можна регулювати, змінюючи тривалість і частоту керуючих імпульсів, що надходять на електромагніт блокуючого клапана.

У випадку управління за допомогою лідируючої хвилі, параметри впорскування та зменшення хвильових ефектів у трубопроводі високого тиску налаштовуються відповідно до діаграми. Оптимальний вибір частоти активації обох клапанів дозволяє мінімізувати хвильові ефекти під час впорскування палива через розпилювач ЕГФ.

Додатково представлено покращений розпилювач ЕГФ (рис. 3.7), який підвищує ефективність системи завдяки спрощенню конструкції та точнішому розташуванню голки розпилювача з певною швидкістю.

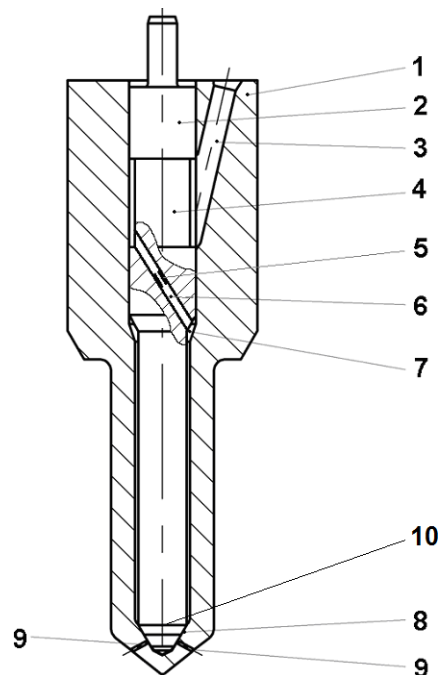


Рис. 3.7. Розпилювач: 1 – оболонка; 2 – блокуюча голка; 3 – трубопровід для подачі пального; 4 – радіальна канавка на голка; 5 – жиклер; 6 – внутрішній трубопровід голки; 7 – камера між оболонкою та блокуючою голкою; 8 – блокуючий конус; 9 – входні грані розпилюючих отворів; 10 – основа блокуючого конуса.

Подальше збільшення різниці тисків призводить до значного зниження тиску всередині камери, що, у свою чергу, зменшує тиск впорскування і потребує підвищення тиску на вході в корпус розпилювача. Необхідну різницю тисків у цих камерах підтримує жиклер 5 з визначеним прохідним перерізом. Зміною прохідного перерізу жиклера можна встановити потрібну різницю тисків у камерах при різних тисках у акумуляторі, що загалом покращує роботу електрогідравлічної форсунки з таким розпилювачем.

Розмір прохідного перерізу жиклера  $F_{\text{ж}}$  визначається на основі загального перерізу розпилювальних отворів форсунки  $f_c$ , щоб забезпечити співвідношення  $F_{\text{ж}}/f_c$  у межах 0,7–0,9.

Під час роботи паливної системи паливо під тиском насоса переміщується з трубопроводу 3 через радіальну канавку 4 у трубопровід 6, а далі через жиклер 5 потрапляє в камеру 7. Гідродинамічні параметри трубопроводу 6 та діаметр проходу жиклера 5 налаштовані так, що під час одного циклу роботи форсунки, перед початком впорскування, тиск у камері 7 піднімається до заданого рівня відповідно до визначеної різниці тисків у цих камерах.

Після підняття голки паливо проходить з камери 7 через блокуючий конус до розпилювальних отворів, здійснюючи безпосереднє впорскування у камеру згоряння дизельного двигуна.

### **Висновки до розділу III**

В розділі охарактеризовано сучасне діагностичне обладнання, що застосовується для перевірки технічного стану паливної апаратури. Визначено рівень забруднення елемента паливного фільтра тонкого очищення шляхом та аналізу його технічного стану після встановленого періоду експлуатації. Розглянуто шляхи удосконалення систем енергоживлення шляхом застосування сучасних акумуляторних технологій.

## РОЗДІЛ IV ОХОРОНА ПРАЦІ

### **4.1 Безпека праці та підготування робочого місця під час ремонту системи живлення автомобіля**

Ремонт системи живлення автомобіля є складним і відповідальним видом технічних робіт, що вимагає високого рівня професійної підготовки, уважності та суворого дотримання правил безпеки праці. Система живлення сучасного автомобіля забезпечує зберігання, очищення та подачу палива до двигуна внутрішнього згоряння.

У конструкції транспортних засобів, таких як автомобілі компаній Toyota, Volkswagen чи Renault, ця система може мати різні технічні особливості, однак принципи безпечної роботи залишаються спільними для всіх типів двигунів бензинових, дизельних або з газобалонним обладнанням. Нехтування вимогами охорони праці під час виконання ремонтних операцій може призвести до пожежі, вибуху, отруєння парами палива або отримання механічних травм.

Однією з головних небезпек під час ремонту системи живлення є легкозаймистість палива та його парів. Бензин і дизельне паливо мають високу хімічну активність і можуть утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Особливо небезпечними є закриті або погано вентильовані приміщення, де накопичення парів палива може створити ризик займання навіть від незначної іскри.

Джерелом запалювання можуть стати електроінструменти, несправна електропроводка, статична електрика або навіть відкрите полум'я. Тому перед початком ремонту необхідно переконатися у відсутності відкритих джерел вогню, а також перевірити справність електричних приладів.

Підготування робочого місця є обов'язковим етапом перед початком будь-яких ремонтних робіт. Насамперед необхідно забезпечити достатню вентиляцію приміщення. Якщо роботи виконуються в гаражі або майстерні,

потрібно відкрити вентиляційні отвори або увімкнути примусову вентиляцію. Робоча зона повинна бути добре освітлена, але освітлювальні прилади мають бути захищені від можливого контакту з паливом. Використання переносних ламп допускається лише за умови наявності захисного плафона та справної ізоляції кабелю.

Перед розбиранням елементів системи живлення обов'язково потрібно від'єднати акумуляторну батарею, щоб запобігти короткому замиканню та випадковому іскроутворенню. Зняття клеми з акумулятора мінімізує ризик займання палива під час роботи з паливними магістралями чи насосом. Також важливо знизити тиск у паливній системі, особливо в сучасних інжекторних двигунах, де тиск може бути досить високим. Неправильне роз'єднання паливопроводів без попереднього зниження тиску може спричинити різкий викид палива та травмування працівника.

Особливу увагу слід приділяти засобам індивідуального захисту. Працівник повинен використовувати спеціальний робочий одяг із щільної тканини, який захищає шкіру від контакту з паливом та мастильними матеріалами.

Обов'язковими є захисні рукавички, стійкі до впливу нафтопродуктів, а також окуляри для запобігання потраплянню палива в очі. У разі виконання робіт у замкненому просторі рекомендується використовувати респіратор для захисту органів дихання від шкідливих парів.

Інструменти, що застосовуються під час ремонту системи живлення, повинні бути справними та відповідати технічним вимогам. Не допускається використання інструменту з пошкодженими ручками або ізоляцією. Металеві інструменти слід застосовувати обережно, щоб уникнути утворення іскор.

Для роботи з паливними трубками рекомендується використовувати спеціальні ключі, що зменшують ризик деформації деталей. Усі зняті деталі потрібно складати у відведене місце, щоб запобігти їх пошкодженню або втраті.

Важливою складовою безпеки є правильне поводження з паливом, що зливається під час ремонту. Зібране пальне необхідно зберігати у спеціальних герметичних ємностях, призначених для нафтопродуктів. Забороняється зливати пальне у відкриті посудини або залишати його без нагляду. Після завершення робіт слід ретельно перевірити герметичність з'єднань, щоб уникнути витоків. Навіть незначний підтік палива може стати причиною пожежі під час подальшої експлуатації автомобіля.

Організація робочого місця передбачає також підтримання порядку та чистоти. Підлога повинна бути сухою та неслизькою, без розлитих мастильних матеріалів. У разі випадкового розливу палива його необхідно негайно прибрати за допомогою спеціальних абсорбуючих матеріалів. Наявність вогнегасника у безпосередній близькості до робочого місця є обов'язковою умовою. Працівник повинен знати правила користування первинними засобами пожежогасіння та дії у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Окрему небезпеку становлять роботи з газобалонним обладнанням, яке використовується в автомобілях для роботи на скрапленому або стисненому газі. У таких випадках потрібно переконатися в повному перекритті подачі газу та відсутності тиску в системі. Порухення цих вимог може призвести до витоку газу й утворення вибухонебезпечної суміші. Роботи з газовими системами повинні виконуватися лише кваліфікованими фахівцями з відповідним допуском.

Після завершення ремонту необхідно провести контрольну перевірку працездатності системи живлення. Перед під'єднанням акумулятора слід переконаватися, що всі інструменти прибрані, а з'єднання надійно закріплені. Перший запуск двигуна потрібно здійснювати з дотриманням обережності, спостерігаючи за можливими витокami або сторонніми запахами. У разі виявлення несправностей двигун слід негайно вимкнути та усунути причину.

Таким чином, безпека праці під час ремонту системи живлення автомобіля ґрунтується на комплексному підході, що включає технічну

підготовку, правильну організацію робочого місця, використання засобів індивідуального захисту та суворе дотримання правил пожежної безпеки.

Відповідальне ставлення до цих вимог не лише зменшує ризик травматизму, а й забезпечує якісне виконання ремонтних робіт та надійну експлуатацію транспортного засобу в подальшому.

## **4.2 Захист навколишнього середовища та забезпечення пожежної безпеки**

Одним із ключових об'єктів охорони навколишнього середовища є атмосферне повітря. Основними джерелами його забруднення є природні та промислові процеси. Серед промислових викидів найбільш значущими є технологічні та вентиляційні викиди безперервної дії, які становлять близько 81% від загального обсягу викидів.

Провідну частку забруднення повітря спричиняє спалювання органічних енергоносіїв вугілля, нафти та газу, тоді як автотранспорт забезпечує до 40% усіх забруднень. Особливо небезпечним є те, що викиди від автомобілів накопичуються у приземному шарі атмосфери, тобто безпосередньо в зоні дихання людини. Максимальні концентрації шкідливих речовин зазвичай спостерігаються у безпосередній близькості від джерела їх утворення.

Для зменшення шкідливого впливу автомобільних викидів застосовуються каталізатори, що окислюють чадний газ (CO) до вуглекислого (CO<sub>2</sub>). Важливим фактором охорони атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунтів є правильне зберігання та використання нафтопродуктів, тому у виробничих господарствах приділяють особливу увагу зберіганню, застосуванню та утилізації палива та мастильних матеріалів (ПММ).

На підприємстві функціонує заправна станція, обладнана підземними резервуарами для дизельного пального та бензину, окремими резервуарами

для різних типів мастильних рідин та баком для відпрацьованих ПММ. Хоча обладнання використовується тривалий час, його технічний стан постійно контролюється відповідно до нормативних вимог: перевіряється герметичність резервуарів, трубопроводів та установок. Персонал має відповідну кваліфікацію. У ремонтній майстерні також наявні резервуари для зливу відпрацьованих газів.

Серед негативних наслідків широкого використання автомобілів слід зазначити шкідливий вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини. Це зумовлено значними викидами шкідливих речовин та шумом, який супроводжує роботу автомобіля.

Шум є однією з форм несприятливого впливу автотранспорту. Основними його джерелами є процеси всмоктування повітря карбюратором, випуск відпрацьованих газів, робота вентилятора системи охолодження, клапанного механізму трансмісії; у дизельних автомобілях — система впорскування пального та взаємодія шин з дорожнім покриттям.

Правила пожежної безпеки для підприємств автотранспорту розроблені відповідно до «Правил пожежної безпеки в Україні» (ППБ-01-93). Порушення цих вимог тягне за собою кримінальну, адміністративну та дисциплінарну відповідальність. Пожежі на підприємствах можуть завдавати значних матеріальних збитків та призводити до нещасних випадків.

Основними причинами займання матеріалів та виникнення пожеж на автотранспортних підприємствах є: неправильне розташування термічних печей та котельних топок; несправність опалювальних приладів, електрообладнання та освітлення; самозаймання через неправильне зберігання мастильних і обтиральних матеріалів; електростатичні розряди; відсутність блискавковідводів; необережне поводження з вогнем; недостатній контроль за пожежними засобами та виробничим обладнанням.

Пожежна профілактика є ключовим елементом протипожежного захисту та включає: усунення причин виникнення пожеж, запобігання їх

поширенню, забезпечення безпечної евакуації людей і майна, а також створення умов для ефективного гасіння вогню.

У приміщеннях для технічного обслуговування та ремонту автомобілів забороняється: куріння та використання відкритого вогню, проведення ремонтних робіт із паливними баками, що містять пальне, зберігання палива та гасу у кількостях, що перевищують змінну потребу, а також зберігання порожньої тари з-під ПММ.

Додатково необхідно дотримуватися наступних протипожежних заходів: ретельно прибирати приміщення після завершення робочої зміни; усувати розливу оливу та пальне за допомогою піску; збирати використані обтиральні матеріали в металеві ящики з кришками та виносити їх у безпечне місце; організовувати зберігання відпрацьованих олиव і мастил у підземних цистернах або спеціально відведених підвальних приміщеннях.

#### **4.3 Порядок дій при аварійних ситуаціях та перша допомога**

Технічне обслуговування системи паливоподачі дизельних двигунів передбачає роботу з компонентами, які перебувають під високим тиском та можуть містити легкозаймисті рідини. Невиконання правил безпеки під час таких операцій може призвести до серйозних аварійних ситуацій, що загрожують життю та здоров'ю обслуговуючого персоналу, а також до пошкодження обладнання. Тому першочерговим завданням є чітке дотримання встановленого порядку дій у разі аварій та вміння надавати першу допомогу постраждалим.

Аварійні ситуації можуть виникати з різних причин, серед яких основними є несправності елементів системи, порушення герметичності з'єднань, неправильне підключення або використання обладнання, а також недотримання правил особистої безпеки.

Найпоширенішими випадками є витік палива під високим тиском, коротке замикання електричної частини системи, займання палива або появу

токсичних парів у закритому приміщенні. Усі ці ситуації вимагають негайного реагування та суворого дотримання процедур безпеки.

Першим кроком при виявленні аварійної ситуації є оцінка обстановки. Працівник має визначити, чи є загроза для його життя або життя інших, і в разі наявності такої загрози негайно повідомити керівництво або чергового майстра, а також усіх присутніх про небезпечну ситуацію.

Важливим є виключення джерел загоряння, якщо аварія пов'язана з витоком палива. Вимикають електропостачання та від'єднують обладнання, що може стати джерелом іскри, а також евакуюють персонал з небезпечної зони, зберігаючи порядок і спокій. У разі великого витоку палива чи займання використовують спеціальні засоби пожежогасіння, зокрема вогнегасники відповідного типу, відповідні для роботи з рідким паливом, та лише після цього приступають до локалізації аварії на обладнанні.

Якщо аварія спричинила ураження працівника, наприклад, попадання палива під високим тиском у шкіру або очі, слід негайно надати першу допомогу. У разі ураження шкіри необхідно ретельно промити уражене місце великою кількістю чистої води протягом декількох хвилин, видалити забруднений одяг і накласти стерильну пов'язку для запобігання інфекції.

При контакті з очима промивання слід здійснювати під проточною водою не менше десяти хвилин, утримуючи повіки розкритими, після чого звертатися до медичного закладу. Потрапляння палива під високим тиском у шкіру є особливо небезпечним, оскільки може викликати серйозне пошкодження тканин.

У такому випадку потерпілого обов'язково слід доставити до лікарні для хірургічної обробки ураженої ділянки, уникаючи спроб самостійного видалення палива.

Електротехнічні аварії, наприклад коротке замикання або ураження струмом, також потребують негайного реагування. Перше, що робить працівник, — відключає джерело електроживлення. Потерпілого необхідно обережно звільнити від контакту з електроприладом, використовуючи

ізоляційні матеріали, після чого перевіряють наявність дихання та серцевої діяльності.

У разі зупинки серця або відсутності дихання починають серцево-легеневу реанімацію відповідно до встановлених стандартів, не припиняючи дій до прибуття медичної допомоги або відновлення життєвих функцій.

Особлива увага приділяється також загрозі пожежі. Паливо дизельних двигунів є займистою рідиною, тому навіть невелика іскра або нагріта поверхня може спричинити займання.

Під час ліквідації таких ситуацій заборонено використовувати воду для гасіння, якщо це відкритий вогонь на поверхні палива, оскільки це лише сприяє поширенню полум'я. Використовують піноутворювачі, вогнегасники типу ABC або порошкові вогнегасники, що дозволяють безпечно локалізувати загоряння. Працівники повинні носити засоби індивідуального захисту, зокрема рукавички, окуляри та спецодяг, що захищає від термічного впливу та хімічних опіків. Надання першої допомоги та ліквідація наслідків аварій також включають дії щодо зменшення впливу токсичних парів і хімічних речовин.

Під час роботи у приміщеннях із поганою вентиляцією слід негайно забезпечити приплив свіжого повітря, відкривши двері та вікна або використовуючи вентиляційні установки. Потерпілого необхідно вивести на свіже повітря, уникати контакту із забрудненими поверхнями та забезпечити спокій до прибуття медичної допомоги. Усі дії мають виконуватися швидко, але обережно, щоб уникнути додаткових травм та поширення аварійної ситуації.

Після ліквідації безпосередньої загрози та надання першої допомоги здійснюється огляд обладнання та робочого місця для встановлення причин аварії. Це дозволяє не лише усунути дефект, але й запобігти повторенню подібних ситуацій у майбутньому.

Важливим елементом є документування аварії, включно з описом обставин, виявлених пошкоджень, наданої допомоги та заходів, вжитих для

локалізації аварії. Така практика не лише відповідає нормам охорони праці, а й підвищує загальну культуру безпеки на підприємстві. Таким чином, порядок дій при аварійних ситуаціях та надання першої допомоги під час обслуговування акумуляторної системи паливоподачі передбачає послідовне виконання ряду заходів: оцінку небезпеки, ізоляцію джерел загоряння або струму, евакуацію персоналу, надання першої допомоги постраждалим, локалізацію аварії та подальший аналіз причин.

Дотримання цих правил забезпечує безпеку працівників, збереження обладнання та мінімізацію ризику виникнення серйозних аварійних ситуацій. Професійна підготовка персоналу та відпрацювання дій у аварійних ситуаціях є ключовими складовими ефективної та безпечної роботи.

#### **Висновки до розділу IV**

В розділі приділено увагу питанням безпеки праці та підготування робочого місця під час ремонту системи живлення автомобіля.

Вивчено питання захисту навколишнього середовища та забезпечення пожежної безпеки. Розглянуто правила поводження з легкозаймистими і горючими матеріалами, застосування систем пожежного сповіщення та засобів гасіння, що дозволяє створити безпечні умови для працівників і зберегти навколишнє середовище від можливих негативних наслідків аварій.

Проаналізовано порядок дій у випадку виникнення аварійних ситуацій та надано основні принципи надання першої допомоги. Особлива увага приділяється своєчасному реагуванню на небезпечні події для мінімізації ризику травмування та пошкодження обладнання.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В теоретичному розділі охарактеризовано систему паливоподачі дизельного двигуна, її призначення, будову та принцип дії. Проведено аналіз процесу впорскування палива в дизельних двигунах. Обґрунтовано основні несправності акумуляторної системи паливоподачі дизельних двигунів типу Common Rail, яка є однією з найпоширеніших сучасних систем упорскування палива.

В технологічному розділі розглянуто принцип роботи акумуляторної паливної системи типу Common Rail та основних елементів системи. Визначено процес діагностики роботи дизельного двигуна та визначено основні етапи перевірки його технічного стану та встановлено, що діагностику доцільно розпочинати з перевірки рівня моторного масла. Обґрунтовано технологічне обладнання, що використовується для ремонту та очищення форсунок. Проаналізовано методи їх очищення (ультразвуковий, хімічний, високим тиском).

В розрахунково-конструктивному розділі охарактеризовано сучасне діагностичне обладнання, що застосовується для перевірки технічного стану паливної апаратури. Визначено рівень забруднення елемента паливного фільтра тонкого очищення шляхом та аналізу його технічного стану після встановленого періоду експлуатації. Розглянуто шляхи удосконалення систем енергоживлення шляхом застосування сучасних акумуляторних технологій.

В розділі охорона праці приділено увагу питанням безпеки праці та підготування робочого місця під час ремонту системи живлення автомобіля.

Вивчено питання захисту навколишнього середовища та забезпечення пожежної безпеки. Проаналізовано порядок дій у випадку виникнення аварійних ситуацій та надано основні принципи надання першої допомоги.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабак В. І. Дизельні двигуни: ремонт і технічне обслуговування. К.: Техніка, 2018.
2. Бондаренко І. С. Методи контролю та діагностики паливних систем дизелів. Харків: Фактор, 2024. 232 с.
3. Васильєв І. В. Технологія ремонту дизельних двигунів. Київ: Техніка, 2023. 352 с.
4. Гнатюк П. М. Технічне обслуговування паливних систем. Одеса: Астропринт, 2018. 312 с.
5. Грищук О. В. Діагностика систем впорскування палива. Київ: Техніка, 2020. 212 с.
6. Денисенко П. І. Пальнева апаратура дизельних двигунів: будова, діагностика, ремонт. К.: Наукова думка, 2019.
7. Дорошенко І. І. Технічне обслуговування дизельних двигунів з акумуляторними системами. Київ: Академвидав, 2017. 312 с.
8. Жуков Л.В. Практичне керівництво з технічного обслуговування паливних систем дизельних двигунів. Дніпро: Ліра, 2021. 224 с.
9. Іваненко О. П. Системи впорскування палива дизельних двигунів. Харків: Машинобудування, 2017. 368 с.
10. Лисенко С. І. Сучасні методи діагностики та ремонту паливних систем дизельних двигунів. Одеса: Технологія, 2022. 288 с.
11. Мельник С. Г. Ремонт та діагностика форсунок Common Rail. Київ: Наукова думка, 2022. 204 с.
12. Орел І. С. Технологія технічного обслуговування дизельних двигунів. Київ: Центр навчальної літератури, 2020. 312 с.
13. Основи ремонту та технічного сервісу паливної апаратури дизелів / за ред. М. І. Павленка. Х.: Техосвіта, 2020.
14. Петров С.М., Іваненко О.В. Системи паливоподачі дизельних двигунів: експлуатація та обслуговування. Харків: Фактор, 2020. 256 с.

15. Петров В. М., Ковальчук О. І. Охорона праці при ремонті паливних систем дизельних двигунів. Харків: Техніка, 2020. 192 с.
16. Ремонт дизельної техніки: методичні вказівки / О. М. Семенов. Львів: Сполом, 2021.
17. Синельников В. І. Паливна система дизеля: конструкція та експлуатація. Х.: Світ, 2022.
18. Ткаченко П. М. Методи випробувань паливних систем дизелів. Харків: Техніка, 2025. 198 с.
19. Шевченко Ю. П. Технології технічного обслуговування дизельних двигунів. Харків: Прапор, 2017. 290 с.