

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

(назва кафедри)

Калінін Є.І.

(підпис)

(ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Розробка конструкції елементів акумуляторної системи паливоподачі»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко В.В.

(ПІБ)

(підпис)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Колеснік І.В.

(ПІБ)

(підпис)

Виконав

Пацина Роман Олександрович

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний в об'ємі 7 листів графічної частини і пояснювальної записки на 45 сторінках. Пояснювальна записка містить 4 розділи, в яких знаходиться 6 рисунків.

Вимоги до систем упорскування дизельного палива постійно зростають. Вищі тиски впорскування, підвищені швидкості спрацьовування форсунок і гнучке налаштування робочого процесу до умов експлуатації автомобіля роблять двигун більш потужним, економічним і малотоксичним. Крім того, система впорскування палива все більше інтегрується в загальну електронну схему керування автомобілем. Однією з таких високорозвинених систем упорскування є акумуляторна система Common Rail, основною перевагою якої є широкий діапазон зміни тиску палива та моменту початку упорскування. Це реалізується шляхом поділу процесів створення тиску та забезпечення упорскування палива.

Метою даної випускної кваліфікаційної роботи є розробка засобів та методів для обслуговування та діагностики системи Common Rail.

Ключові слова: трактор, автомобіль, дизельний двигун, паливна система, електрогідравлічна форсунка.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СХЕМ АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПАЛИВА	8
1.1 Огляд двигунів внутрішнього згоряння та систем паливоподачі дизельних двигунів	8
1.2 Електронна система керування подачею дизельного палива Common Rail	12
1.2.1 Загальний пристрій системи Common Rail	12
2 РОЗРАХУНОК АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ ДИЗЕЛЯ	16
2.1. Розрахунок акумулятора	17
2.2 Розрахунок паливного насоса високого тиску	18
2.3 Розрахунок форсунки	20
3 МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВНИЧИХ ФОРСУНОК АВТОМОБІЛЯ З ДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ	22
3.1 Аналіз процесу функціонування електрогідравлічної форсунки	22
3.2 Опис гідродинамічних процесів	25
4 БЕЗПЕКА І ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ПРОЕКТУ	31
4.1 Загальні вимоги щодо охорони праці	32
4.2 Техніка безпеки при ремонті, збиранні та випробуванні	35
4.3 Вимоги до будівель приміщень, пристроїв та споруд	35
4.4 Правила техніки безпеки слюсаря з ремонту паливної апаратури	37
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	42
ДОДАТКИ	45

ВСТУП

Система Common Rail – наступний крок у розвитку систем паливоподачі дизелів (а також бензинових двигунів). Її особливістю стало використання акумуляторного вузла (резервуару), що містить розподільчий трубопровід (загальна рампа), лінії подачі палива та форсунки. ЕБУ за заданою програмою передає керуючий сигнал соленоїду форсунки, яка подає паливо в камеру згоряння двигуна. Використання принципу поділу вузла, що створює тиск (насос високого тиску), і вузла впорскування (електромагнітна форсунка) забезпечує підвищення точності управління процесом згоряння, а також збільшення тиску впорскування.

Систему Common Rail, розроблену фірмою Bosch, вирізняють такі особливості:

- можливість встановлення системи без радикальної зміни конструкції самого дизельного двигуна;
- тиск палива підтримується на необхідному рівні, незалежно від частоти обертання колінчастого валу двигуна. Це дає можливість збільшити величину моменту, що крутить, при малих оборотах двигуна;
- керування системою здійснюється під контролем електроніки, тому кількість палива, що впорскується в циліндри, дозується точніше. Це покращує процес згоряння та знижує витрату палива;
- паливо впорскується під тиском близько 135 МПа. Такий високий тиск забезпечує отримання дуже дрібно розпорошеного палива, яке згоряє повніше і призводить до зменшення шкідливих викидів та зниження димності газів, що відпрацювали. Ще більш повне згоряння може бути забезпечене застосуванням попереднього упорскування або багаторазового впорскування протягом одного такту;
- організація процесу упорскування за допомогою електроніки дає можливість істотно знизити шумність дизеля;

На відміну від інших систем живлення дизелів, що управляють роботою кулачкових механізмів, система Common Rail є акумуляторною системою, в якій паливо знаходиться під високим тиском в акумуляторному вузлі (Rail).

Система Common Rail складається з трьох основних частин: контуру низького тиску, контуру високого тиску та системи датчиків. У контур низького тиску входять: паливний бак, насос, що підкачує, паливний фільтр і сполучні трубопроводи. Контур високого тиску складається з насоса високого тиску (замінює традиційний ПНВТ) з контрольним клапаном, акумуляторного вузла високого тиску (рампи) з датчиком, що контролює в ній тиск, форсунок та з'єднувальних трубопроводів високого тиску. Акумуляторний вузол є довгою трубою з поперечно розташованими штуцерами для приєднання форсунок і виконаний двошаровим (внутрішній шар виготовлений з хімічно інертного матеріалу).

Електронний блок управління системи Common Rail отримує електричні сигнали від наступних датчиків: положення колінчастого валу, положення розподільчого валу, переміщення педалі «газу», тиску наддуву, температури повітря, температури охолоджуючої рідини, масової витрати повітря та тиску палива в акумуляторному вузлі. Датчики визначають значення відповідних фізичних величин, а ЕБУ на основі отриманих сигналів обчислює необхідну кількість палива, що подається, дає команду на початок упорскування, визначає тривалість відкриття форсунки, коригує параметри упорскування і керує роботою всієї системи.

У контурі низького тиску насос, що підкачує, засмоктує паливо з бака, пропускає його через фільтр, в якому затримуються забруднення, і доставляє його до контуру високого тиску.

У контурі високого тиску насос високого тиску подає паливо в вузол акумулятора, де воно знаходиться при максимальному тиску 135 Мпа за допомогою контрольного клапана. Якщо контрольний клапан насоса високого тиску відкривається за командою ЕБУ, паливо від насоса зливальним трубопроводом надходить у паливний бак. Кожна форсунка з'єднується з

аккумуляторним вузлом окремим трубопроводом високого тиску, а всередині форсунки є керуючий соленоїд (електромагнітний клапан). При отриманні командного електричного сигналу від ЕБУ форсунка починає впорскувати паливо у відповідний циліндр. Упорскування палива продовжується доти, поки електромагнітний клапан форсунки не відключиться по команді блоку управління, який визначає момент початку упорскування і кількість палива, отримуючи дані від датчиків та аналізуючи отримані значення за спеціальною програмою, закладеною в пам'яті комп'ютера.

Крім того, блок здійснює постійний контроль працездатності системи. Оскільки в аккумуляторному вузлі паливо знаходиться при постійному та високому тиску, це дає можливість упорскування невеликих і точно відміряних порцій палива. З'явилася можливість упорскування попередньої порції палива перед основною, що дає можливість значно покращити процес згоряння.

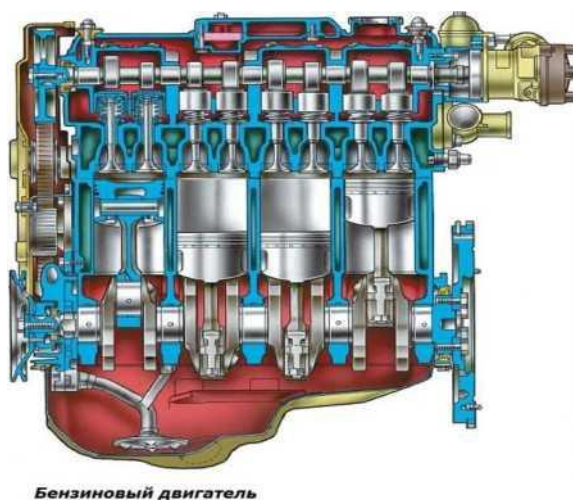
Вимоги до систем упорскування дизельного палива постійно зростають. Вищі тиски впорскування, підвищені швидкості спрацьовування форсунок і гнучке налаштування робочого процесу до умов експлуатації автомобіля роблять двигун більш потужним, економічним і малотоксичним. Крім того, система впорскування палива все більше інтегрується в загальну електронну схему керування автомобілем. Однією з таких високорозвинених систем упорскування є аккумуляторна система Common Rail, основною перевагою якої є широкий діапазон зміни тиску палива та моменту початку упорскування. Це реалізується шляхом поділу процесів створення тиску та забезпечення упорскування палива.

Метою даної випускної кваліфікаційної роботи є розробка засобів та методів для обслуговування та діагностики системи Common Rail.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СХЕМ АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПАЛИВА

1.1 Огляд двигунів внутрішнього згоряння та систем паливоподачі дизельних двигунів

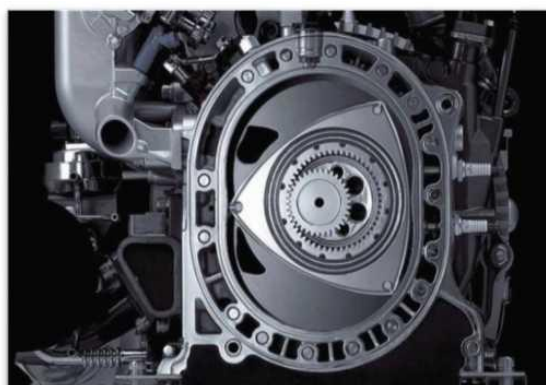
Двигун внутрішнього згоряння – це пристрій, що перетворює енергію згоряння палива на механічну роботу. У світі використовують бензинові, дизельні, роторно – поршневі двигуни внутрішнього згоряння, а як і існують гібридно силові установки (рис. 1).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Двигуни внутрішнього згоряння

Для дизельних двигунів характерні такі переваги, як високий крутний момент і економічність. ККД дизельного двигуна значно перевищує ККД

бензинового. Дані особливості більше підходять для автомобілів позашляхового типу, які працюватимуть у не найкращих умовах. І, як правило, в лінійці позашляховиків, завжди знайдеться модель з дизельним двигуном.

Дизельні двигуни відрізняються один від одного числом циліндрів, потужністю, формою камери згоряння, пристроєм та принципом роботи паливної апаратури. Більшість дизельних двигунів працює за чотиритактним циклом.

При роботі дизельного двигуна займання палива походить від температури, яка підвищується в циліндрі під час руху поршня від нижньої до верхньої мертвої точки. Наприкінці такту стиснення тиск повітря сягає 4 – 5 МПа, у своїй його температура підвищується до 500 -700 °С. У цей момент у циліндр упорскується паливо, яке стикаючись з гарячим повітрям, випаровується і хімічно видозмінюється. Цей короткий час називається періодом затримки займання. Під дією високої температури повітря паливо спалахує. При цьому тиск у циліндрі підвищується до 6 – 8 МПа, а температура газів – до 2000 градусів. У процесі розширення газів їхня теплова енергія перетворюється на механічну. На момент відкриття випускного клапана тиск у циліндрі знижується до 0.3 – 0.4 МПа.

У сучасних дизельних двигунах застосовується паливна апаратура двох основних типів:

- з механічною подачею та регулюванням кількості палива в камеру згоряння;
- з електронною системою управління. (Common Rail)

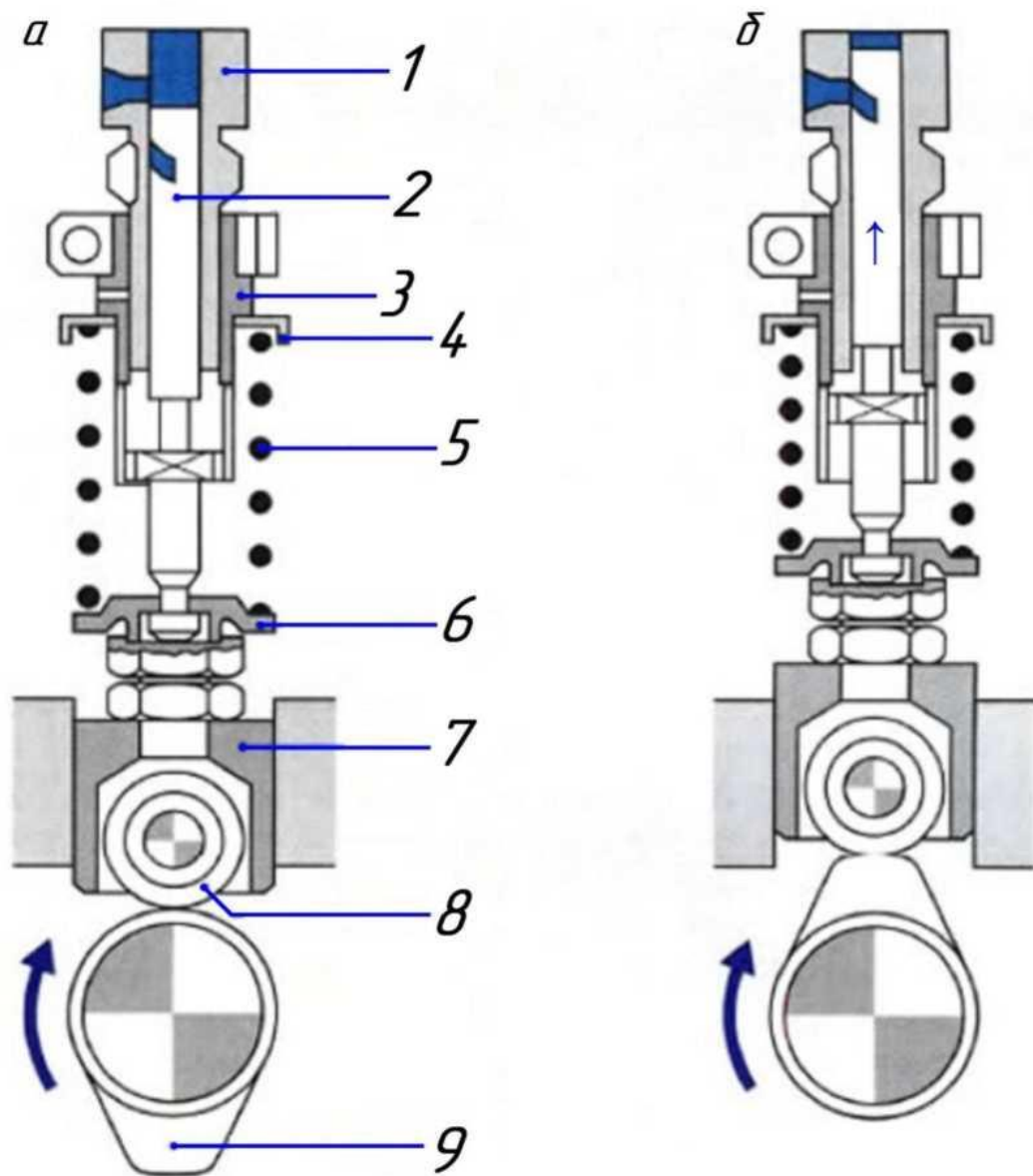
Дизельна паливна апаратура з механічною подачею та регулюванням кількості палива в камеру згоряння включає:

- паливний бак;
- фільтр тонкого та грубого очищення;
- паливну магістраль високого та низького тиску;
- паливopідкачувальний насос;

- паливний насос високого тиску (ПНВТ);
- форсунки.

Паливо міститься в баку, очищається у фільтрі грубого очищення від великих частинок і надходить у паливний насос низького тиску, з якого під невеликим тиском по паливопроводу подається до фільтра тонкого очищення. Далі очищене паливо надходить у паливний насос високого тиску і за допомогою плунжерної пари нагнітається до форсунок і впорскується в циліндр. Надлишки палива через перепускний клапан та трубопровід відводиться в бак.

ПНВТ подає у форсунки кожного циліндра строго певну кількість палива під високим тиском відповідно до порядку роботи та заданого режиму. При цьому момент подачі палива залежить від частоти обертання колінчастого валу двигуна та змінюється за певною характеристикою. Кожна секція ПНВТ (рисунок 2) складається з плунжера та втулки плунжера, які індивідуально підігнані один до одного та утворюють рухливе з'єднання з мінімальним зазором.



а - НМТ плунжера; б - ВМТ плунжера; 1 – гільза плунжера; 2 – плунжер; 3 – регулювальна втулка; 4 – верхня чашка поворотної пружини; 5 – плунжерна пружина; 6 – нижня чашка пружини; 7 – штовхач роликовий; 8 – ролик; 9 – кулачок валу ПНВТ.

Рисунок 2 - Секція ПНВТ

Форсунка служить для розпилення палива відповідно до форми та об'єму камери згоряння. Під тиском 18-20мПа паливо надходить до голки і піднімає її, проходить через сопло і в розпорошеному вигляді надходить у циліндр.

1.2 Електронна система керування подачею дизельного палива Common Rail

1.2.1 Загальний пристрій системи Common Rail

Система Common Rail виконує дві основні функції: подає дизельне паливо у потрібній кількості в потрібний момент часу, що забезпечує економічну та плавну роботу двигуна. Крім того, є додаткові функції, призначені для зниження токсичності газів, витрат палива, підвищення безпеки експлуатації, комфорту і зручності управління.

Система Common Rail включає: паливний бак, в якому розташовується паливopідкачуючий насос, паливopодаючу арматуру, датчик положення розподільного валу - 2, електронний блок управління (ЕБУ) - 3, паливний насос - 4, електронну педаль акселератора - 5, паливний фільтр - 6, датчик температури охолоджувальної рідини - 8, паливні форсунки - 9, датчик тиску дизельного палива - 10, паливну рампу - 11. рисунок 3, 3.1)

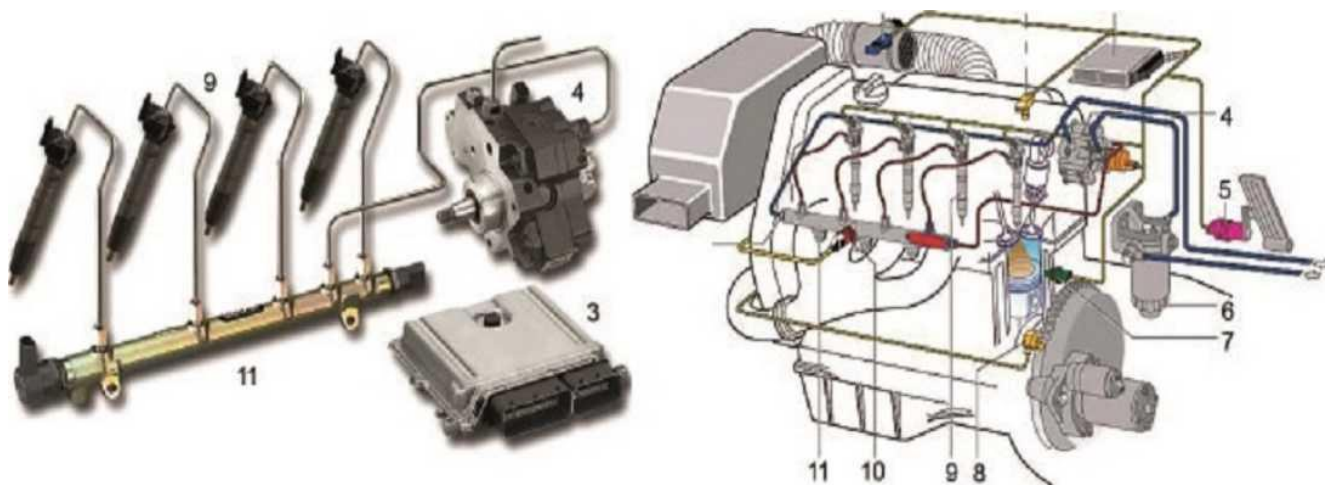


Рисунок 3 – Система Common Rail

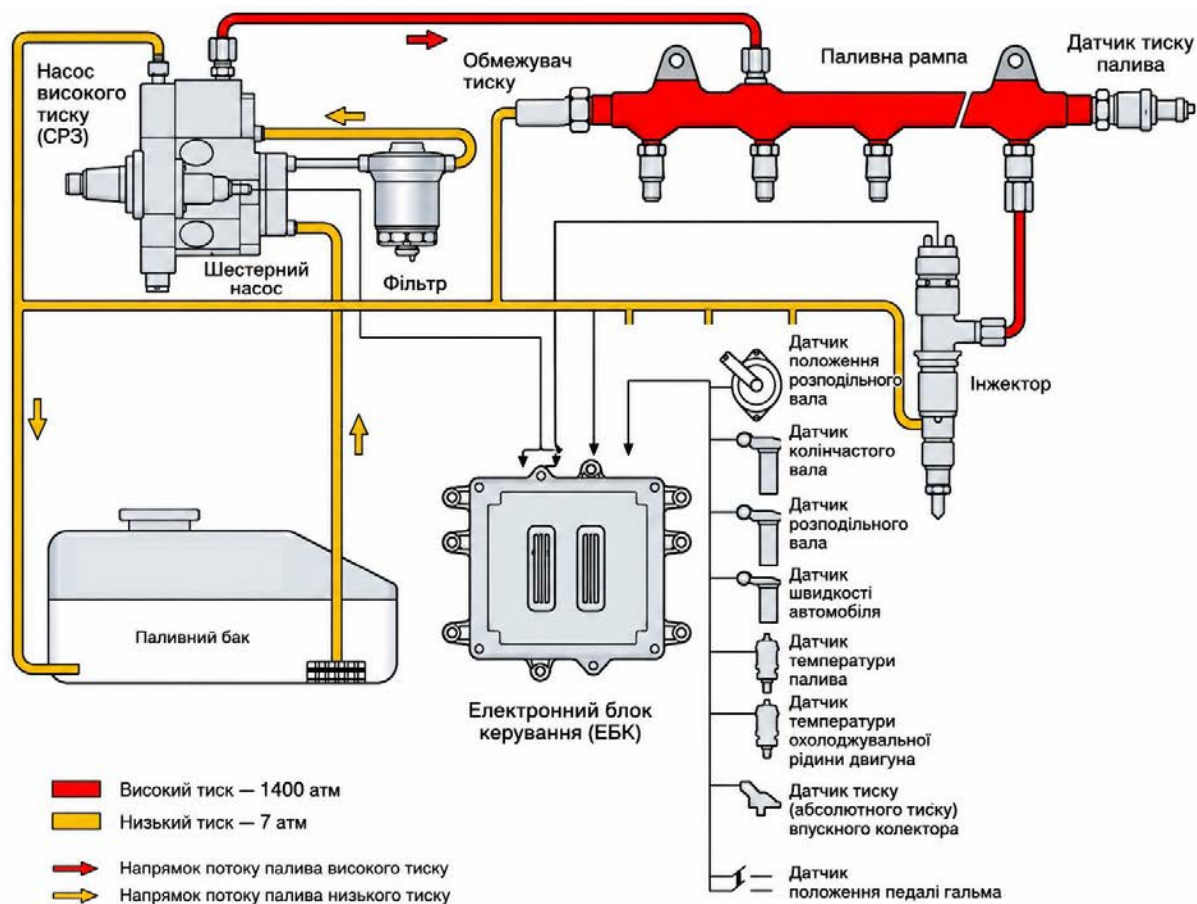


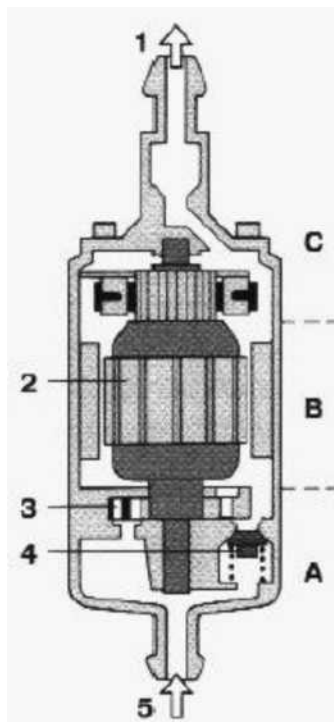
Рисунок 3.1 – Система Common Rail

Паливний бак призначений для зберігання палива. Він повинен бути виготовлений з матеріалу, стійкого до корозії і не мати витоків палива при підвищеному тиску, що виникає при його нагріванні. У паливному баку мають бути запобіжні клапани для скидання надлишкового тиску. Не допускається витоків палива у паливно-заливної горловини та через пристрої вирівнювання тиску. Ця умова повинна виконуватися внаслідок впливу на автомобіль нерівностей дороги, поворотів або похилим положенням. Для запобігання виникненню пожежі при аварії паливний бак і двигун повинні бути розташовані один від одного досить далеко. До тракторів з відкритою кабіною, мотоциклами та мопедами це не ставиться.

Паливopідкачуючий насос розташовується, як правило, у паливному баку. Він служить для подачі палива до паливного насоса високого тиску через фільтри і повинен забезпечувати необхідну продуктивність незалежно від режиму роботи внутрішнього двигуна, бути малошумним, забезпечувати

необхідний тиск. Ресурс його роботи повинен відповідати повному терміну служби автомобіля. В даний час існують два типи насосів палива, що підкачують: - електричний роторний (роликовий) насос, і альтернативний - шестерний насос з механічним приводом.

Паливопідкачувальний насос з електричним приводом застосовується тільки в двигунах легкових та легких комерційних автомобілів. Він виконує функцію припинення подачі палива у разі аварії.



А – насосна секція. В – електромотор. С – кришка

1-бік нагнітання; 2 – якорь електромотора; 3 – роликовий насос; 4 – перепускний клапан; 5 –сторона всмоктування

Рисунок 4 – Електричний насос, що підкачує

Паливопідкачуючий насос шестерного типу застосовується на легкових, комерційних та позашляхових автомобілях. Він може бути інтегрований в корпус ПНВТ і мати загальний привід або встановлювати двигун і мати індивідуальний привід. Зазвичай застосовується зубчастий ремінь або шестерний привід.

У лініях низького тиску використовуються захисні полум'я. Армівані

гнучкі шланги або сталеві трубки. Вони захищені від механічних пошкоджень та прокладені таким чином, щоб унеможливити випаровування палива. При деформуванні кузова у разі аварії чи переміщенні двигуна трубопроводи не повинні руйнуватися. Крім того, вони мають бути захищені від нагріву.

Для подачі палива від насоса високого тиску до рампи використовуються трубопроводи, які виготовляються зі сталевих трубок і мають зовнішній діаметр 6 мм, внутрішній діаметр 2,4 мм і розраховані на тиск понад 250 МПа (рисунок 6). що виникають в інтервалах між упорскуваннями.



Усі трубки, що з'єднують рампу з форсунками, повинні мати однакову довжину. Різниця в відстанях між рампою та конкретною форсункою компенсується вигинами трубок. Трубопроводи високого тиску повинні бути якомога коротшими.

2 РОЗРАХУНОК АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ ДИЗЕЛЯ

Сучасні системи паливоподачі дизелів поділяються на 2 класи: системи безпосередньої дії та акумуляторні системи. У першому класі стиснене ПНВТ паливо надходить безпосередньо через форсунку в циліндр. У системах акумуляторного типу між ПНВТ і форсунками міститься акумулятор, що накопичує паливо в межах кількох циклів, що дозволяє згладжувати пульсації тиску від роботи насоса(-ів) і форсунок, а також дозволяє здійснювати впорскування в будь-який момент часу, незалежно від положення колінчастого валу, Про що було згадано вище. Ця особливість дозволяє точніше дозувати порції палива, а також час їх упорскування, що важливо для наближення до оптимальних значень для кожного окремого циклу. Два основні обмежуючі екологічні фактори для дизельних двигунів – це викиди оксидів азоту NO_x та викиди твердих частинок, сажі. Ці параметри знаходяться у зворотній залежності з організації робочого процесу в дизелі, і при зниженні одного з них шляхом регулювання робочого процесу, неминуче виходить підвищення другого. Для зниження емісії оксидів азоту найбільш дієвим на сьогоднішній день методом є застосування рециркуляції частини відпрацьованих газів EGR з випуску двигуна на впуск. Але застосування EGR веде до збільшення викидів сажі, для боротьби з якими (без застосування зовнішньої обробки газів, що відпрацьовали) ефективним є збільшення тиску впорскування палива одночасно з точним його дозуванням. Збільшення тиску впорскування призводить до кращого розпилювання палива, зменшення розміру крапель і як наслідок, зменшення кількості незгорілого палива, яке і є основним джерелом утворення сажі.

Таким чином, для задоволення перспективних екологічних нормативів, таких як Euro-VI, Tier-IV, Euro Stage IV для важких дизелів, системи Common Rail були визнані найбільш придатними для застосування на всіх класах двигунів.

2.1 Розрахунок акумулятора

Акумулятор в CR для отримання коротких нагнітальних трубопроводів закріплюється на головці і виконується у вигляді товстостінного трубопроводу. У паливному апаратурі *R. Bosch* для легкових автомобілів внутрішній діаметр акумулятора – 10 мм, зовнішній – 18 мм, довжина – 280–600 мм, тобто об'єм – від 22 до 47 мл (для дизелів з циліндричною потужністю 30–50 кВт – до 60мл).

Вихідні дані для розрахунку:

δ – нерівномірність подачі палива, на номінальному режимі роботи двигуна має становити не більше 0,03;

$p_{ак}$ – середній тиск палива в акумуляторі, у сучасних системах може досягати 140–200 МПа;

p_c та p_z – тиску в кінці стиснення та згоряння, МПа;

G_t – годинна витрата палива, кг/год;

τ – тактність двигуна;

n – частота обертання колінчастого валу, хв⁻¹;

i – число циліндрів;

ρ_m – густина дизельного палива, $\rho_m = 820\text{--}850$ кг/м³;

$k_{форс}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову витрату палива через форсунки. Для кращих конструкцій форсунок – $k_{форс} = 1,06\text{--}1,35$.

β – коефіцієнт стисливості палива, $\beta = 35 \cdot 10^{-5}$ 1/МПа.

Середній тиск газів у циліндрі двигуна за час упорскування палива, МПа.

$$p_{ц} = (p_c + p_z) / 2.$$

Визначаємо допустимий максимальний та мінімальний тиск палива в акумуляторі, МПа

$$p_{ак}^{max} = \frac{p_{ак} - \frac{\delta}{2} \cdot p_{ц}}{1 - \frac{\delta}{2}}.$$

$$p_{ак}^{min} = \frac{p_{ак} + \frac{\delta}{2} \cdot p_{ц}}{1 + \frac{\delta}{2}}.$$

Циклова подача палива на режимі номінальної потужності двигуна, мм³

$$V_{ц} = \frac{G_t \cdot \tau \cdot 10^6}{120 \cdot n \cdot i \cdot \rho_T}.$$

Загальна витрата палива з урахуванням його витрати на керування (для електрогідравлічних форсунок) та витоків у форсунці, мм³

$$V_{\Sigma} = k_{форс} V_{ц}.$$

Необхідний об'єм акумулятора, мм³

$$V_{ак} = \frac{V_{\Sigma}}{\beta(p_{ак}^{max} - p_{ак}^{min})}.$$

Коливання $p_{ак}$ від подачі ПНВТ менш значні через велику тривалість нагнітання кожним плунжером при використанні ексцентрикового приводу. Протягом цього періоду відбувається цикл витрачання палива з боку принаймні однієї форсунки.

З іншого боку, необхідний $V_{ак}$ підбирається з умови забезпечення швидкості перехідних режимів. Для прискорення перехідних режимів необхідно мінімізувати $V_{ак}$. З цієї причини спостерігається тенденція мініатюризації акумуляторів (у дизеля легкового автомобіля до 13-15 мм³).

2.2 Розрахунок паливного насоса високого тиску

Основною функцією будь-якого паливного насоса високого тиску (ПНВТ) є забезпечення подачі палива до форсунок під необхідним тиском, на будь-яких режимах роботи двигуна та протягом усього терміну експлуатації

транспортного засобу. Система типу Common Rail відрізняється тим, що в ній ПНВТ позбавлений розподільчих функцій і необхідний лише для створення резерву палива і швидкого підвищення тиску в паливному акумуляторі.

Вихідні дані для розрахунку:

p_1 - тиск палива в акумуляторі на початку перехідного процесу, для розрахунку можна прийняти $p_1 = 50-70$ МПа;

p_2 - тиск палива в акумуляторі в кінці перехідного процесу, для розрахунку можна прийняти $p_2 = p_{ак}$;

$\Delta t_{n.n.}$ - Тривалість перехідного процесу (0,3-0,6 с);

$n_{ПНВТ}$ - частота обертання валу ПНВТ, хв⁻¹;

i_c - число плунжерних секцій ПНВТ, що приймають $i_c = 2-4$;

η_n - коефіцієнт подачі насоса, $\eta_n = 0,75-0,85$;

h_n/d_n - відношення ходу плунжера до діаметра, у сучасних конструкціях насосів $h_n/d_n = 1,2-1,4$.

Хвилинна теоретична об'ємна витрата палива для подачі в циліндри на номінальному режимі, л/хв.

$$Q_{\text{теор}}^{\text{ном}} = \frac{2 \cdot n \cdot i \cdot V_{\text{ц}} \cdot 10^{-6}}{\tau}.$$

Дійсна подача насоса повинна враховувати додаткові витрати пального через форсунки на витік та керування, л/хв.

$$Q_{\text{форс}}^{\text{ном}} = k_{\text{форс}} \cdot Q_{\text{теор}}^{\text{ном}}.$$

Забезпечення динамічного резерву на перехідних режимах, л/хв

$$Q_{\text{дин.рез.}} = \frac{\beta(p_2 - p_1)V_{\text{ак}} \cdot 60 \cdot 10^6}{\Delta t_{\text{п.п.}}}.$$

Хвилинна подача насоса, л/хв

$$Q^{\text{ном}} = Q_{\text{форс}}^{\text{ном}} + Q_{\text{дин.рез.}}$$

Продуктивність насоса за один оберт його валу, мм³

$$V_{\Pi}^{\text{ТНВД}} = \frac{Q^{\text{ном}} \cdot 10^6}{n_{\text{ТНВД}}}.$$

При подачі палива продуктивність насоса повинна бути в середньому в 2 рази вище, ніж при номінальному режимі, мм³

$$V_{\Pi, \text{пуск}}^{\text{ТНВД}} = 2 \cdot V_{\Pi}^{\text{ТНВД}}.$$

Визначити подачу палива за оборот однієї секції плунжерної насоса, мм³

$$V_1 = \frac{V_{\Pi, \text{пуск}}^{\text{ТНВД}}}{i_c \cdot \eta_H}.$$

Знаходимо діаметр плунжера, мм

$$d_{\Pi} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_1}{\pi \cdot h_{\Pi} / d_{\Pi}}}.$$

Хід плунжера дорівнює, мм

$$h_{\Pi} = d_{\Pi} \cdot h_{\Pi} / d_{\Pi}.$$

Знайдені значення d_n і h_n необхідно привести у відповідність до ГОСТ 10578-84, згідно з яким для $h_n = 8$ мм діаметр плунжера d_n вибирають з ряду 5; 6; 6,5; 7; 8; 8,5; 9; 10 мм, для $h_n = 10$ - із ряду 6,5; 7; 8; 8,5; 9; 10; 12 мм.

2.3 Розрахунок форсунки

У системах типу Common Rail найбільшого поширення набули електрогідравлічні форсунки. Необхідний момент початку впорскування і величина подачі палива забезпечуються дією електромагнітного клапана форсунки. Момент початку впорскування встановлюється системою електронного керування роботою дизеля.

Вихідні дані для розрахунку:

$\Phi_{упр}$ - тривалість упорскування, $\phi_{упр} = 15-36$ град. п.к.в.;

μ_c – коефіцієнт витрати пального через соплові отвори, $\mu_c = 0,7-0,75$;

m – кількість соплових отворів розпилювача форсунки.

Тривалість упорскування, сек

$$\tau_{\text{впр}} = \frac{\varphi_{\text{впр}}}{6 \cdot n}.$$

Середня швидкість витікання палива через соплові отвори, м/с

$$w_{\phi} = \sqrt{\frac{2 \cdot (\overline{p_{\text{ак}}} - p_{\text{ц}})}{\rho_{\text{т}}}}.$$

Сумарна площа соплових отворів форсунки, мм²

$$f_{\text{с}} = \frac{V_{\text{ц}}}{\mu_{\text{с}} \cdot w_{\phi} \cdot \tau_{\text{впр}} \cdot 10^3}.$$

Діаметр соплового отвору, мм

$$d_{\text{с}} = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{с}}}{m}}.$$

3 МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВНИЧИХ ФОРСУНОК АВТОМОБІЛЯ З ДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ

Аналіз та опис процесів, що відбуваються в електрогідравлічній форсунці, необхідно виконувати на основі процесу функціонування електрогідравлічної форсунки у стендових умовах. Надалі цей підхід дозволить виконувати експериментальну перевірку за допомогою метрологічно-повіреного стендового обладнання.

У процесі експлуатації функціональні параметри електрогідравлічної форсунки змінюються як наслідок зміни структурних параметрів.

3.1 Аналіз процесу функціонування електрогідравлічної форсунки

На першому етапі розроблення математичної моделі розглянемо процес функціонування АТПС у вигляді структурної схеми (рис. 3.1). Дана схема представляє інформацію про пристрій АТПС та циркуляцію палива через її компоненти.

Гідравлічний контур низького тиску містить паливний бак, фільтр грубого очищення (за його наявності), паливopідкачуючий насос, фільтр тонкого очищення, редукційний клапан, електромагнітний дозуючий пристрій (клапан-регулятор потоку).

Контур високого тиску акумуляторної системи подачі палива, метою якого є створення та підтримання необхідного тиску та необхідної витрати, містить: паливний насос високого тиску (ПНВТ), паливний акумулятор високого тиску (ПАВТ) та електрогідравлічні форсунки (ЕГФ) відповідно числу циліндрів дизеля. Назва цієї паливної системи обумовлена наявністю ПАВТ (іншою загальноновживаною назвою є англomовний термін - Common Rail або загальна магістраль).

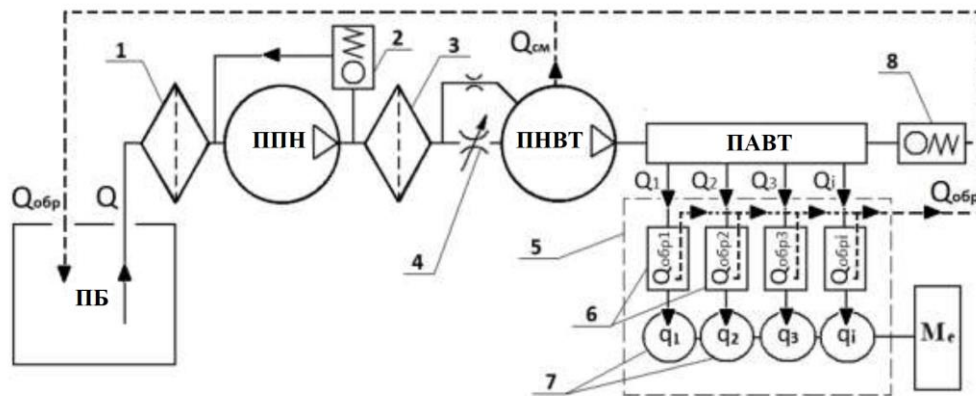


Рисунок 3.1 – Структурна схема процесу функціонування акумуляторної паливної системи

На схемі вказані: ПБ – паливний бак; ППН - паливопідкачувальний насос; ПНВТ-паливний насос високого тиску; ПАВТ - паливний акумулятор високого тиску; 1 - фільтр грубої очистки палива; 2 – редукційний клапан; 3 - фільтр тонкого очищення палива; 4 - керований дросель дозуючого пристрою; 5 – корпус двигуна; 6 – електрогідравлічні форсунки; 7-циліндри двигуна; 8 – запобіжний клапан.

Наступним кроком виділимо область акумуляторної системи подачі палива, пов'язану з об'єктом дослідження і представимо її структурну схему більш детально (рис. 3.2).

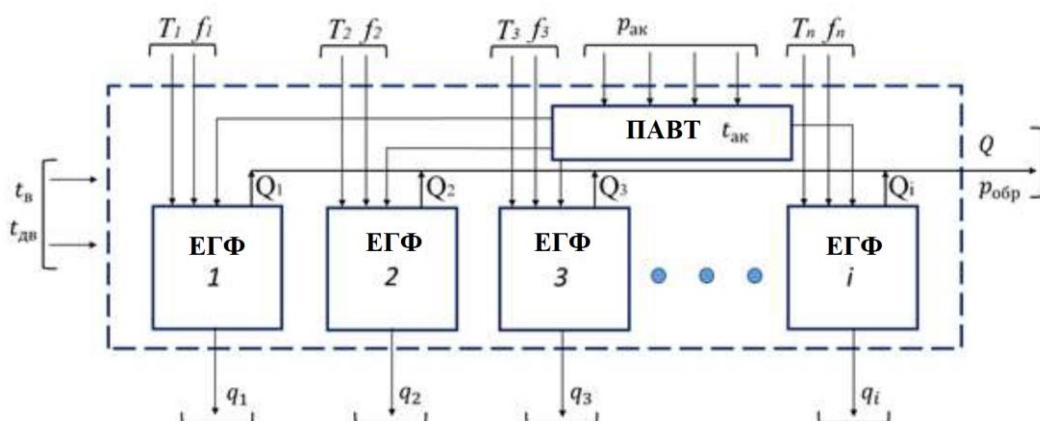


Рисунок 3.2 – Структурна схема процесу функціонування ЕГФ, у складі АСПП, з урахуванням взаємного розташування та формування тиску та витрати палива в загальній зворотній магістралі.

На схемі вказані:

- параметри зовнішніх впливів: температура повітря t_v , температура двигуна $t_{дв}$, щільність палива ρ_t , в'язкість палива ν_t ;
- керуючі параметри: тиск палива $p_{ак}$, тривалість сигналу управління T , частота проходження імпульсів $f_{имп}$;
- внутрішні параметри: температура палива в акумуляторі $t_{ак}$, Q_i ;
- вихідні параметри: витрата на управління Q , тиск у зворотній магістралі $p_{обр}$, циклова подача q_i .

Керуючі параметри: $p_{ак}$, T , $f_{имп}$ та параметри зовнішніх впливів для ЕГФ: $t_{ак}$, t_v , $t_{дв}$, ρ_t , ν_t , мають практично несуттєві відмінності і є загальними для групи ЕГФ у складі АСПП. Навпаки, циклова подача q_i і витрата палива на управління цикловою подачею Q_i , являють собою індивідуальні вихідні параметри, що характеризують функціонуючу ЕГФ. У проведеному дослідженні, найбільший інтерес представляє параметр Q_i , що впливає з першого розділу дисертації. Однак, поряд із загальною витратою Q , рух палива в загальній зворотній магістралі інформативно характеризує тиск $p_{обр}$. Для виділення Q_i в загальних витратах на управління цикловою подачею Q , необхідно встановити взаємозв'язок між Q і $p_{обр}$.

З цією метою необхідно виділити об'єкт дослідження і розглянути процес функціонування ЕГФ (рис. 3.3).

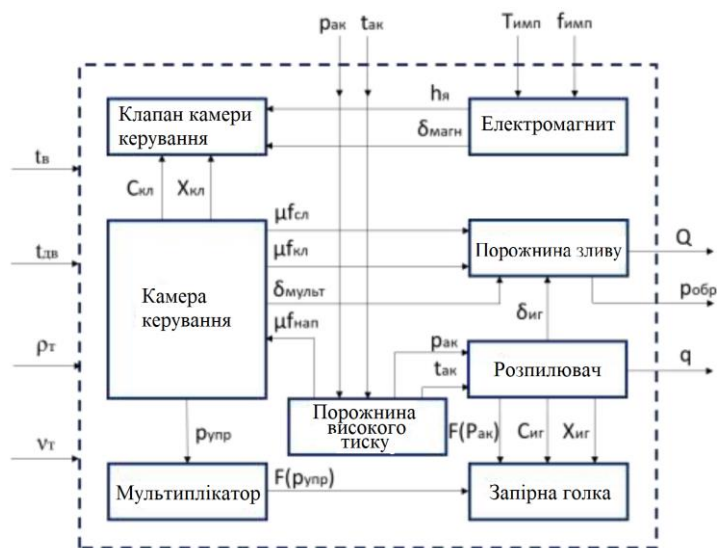


Рисунок 3.3 – Структурна схема процесу функціонування ЕГФ

На схемі вказані:

- параметри зовнішніх впливів: температура повітря t_v , температура двигуна t_{dv} , щільність палива ρ_t , в'язкість палива ν_t ;
- структурні параметри: пропускний переріз наповнювального жиклера $\mu_{fnп}$, пропускний переріз зливного жиклера μ_{fcl} , переріз нещільності керуючого клапана $\mu_{fкл}$, зазор корпус-мультиплікатор $\delta_{мульт}$, зазор корпус-напрямна голки розпилювача $\delta_{іг}$;
- регульовальні параметри: хід якоря $h_я$, магнітний зазор $\delta_{магн}$, жорсткість пружини клапана $c_{кл}$, хід клапана $x_{кл}$, жорсткість пружини голки розпилювача $c_г$, хід запірної голки $x_г$;
- вихідні (функціональні) параметри: витрата на управління Q , тиск у зворотній магістралі $p_{обр}$, циклова подача q ;
- сили, що діють рухомі елементи: на мультиплікатор, з боку камери управління $F_{(рупр)}$, на поршневу частину голки розпилювача, з боку розпилювача $F_{(рак)}$.

За якість роботи ЕГФ відповідають її структурні та регульовальні параметри, які змінюються в залежності від часу роботи, якості палива та умов експлуатації автомобіля [31]. Для виявлення відхилення структурних параметрів застосовуються різні діагностичні методи, що реалізуються як на автомобілі, так і зі зняттям ЕГФ з двигуна [32, 33]. Обґрунтування методів діагностики ЕГФ вимагає аналітичного дослідження їх робочих процесів. Всі параметри та взаємозв'язки, виявлені при аналізі структурних схем, враховані при розробці математичної моделі ЕГФ.

3.2 Опис гідродинамічних процесів

Інжектор автомобільного дизельного двигуна працює у досить широкому діапазоні зміни подач. Як цільову функцію досліджуваного процесу запишемо наступне вираз [34]:

$$\begin{cases} q_i^{min} \leq q_i \leq q_i^{max} \\ Q_i \leq Q_i^{lim} \end{cases}, \quad (3.1)$$

де: q_i - циклова подача i -го режиму роботи, мм^3 ;

q_{imin}, q_{imax} – значення мінімально та максимально допустимих циклових подач i -го режиму роботи, мм^3 ;

Q_i і Q_{ilim} – відповідно номінальна та допустима величина витрати палива на керування, $\text{мм}^3/\text{с}$.

Динаміка руху палива включає рішення рівнянь Нав'є - Стокса, заснованих на збереженні безперервності імпульсу і енергії (коріолісовими і гравітаційними силами знехтували) [35, 36]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} &= -\frac{\lambda \rho |u| u}{2D} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

де: t - час, x - довжина (подовжня координата);

u – швидкість палива;

p – тиск палива;

ρ – щільність палива;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Рішення рівнянь у одному вимірі означає, що це величини усереднюються за напрямом потоку.

Нерозривність потоку представлена рівнянням:

$$\frac{dm}{dt} = \sum_{boundaries} \dot{m} \quad (3.3)$$

Рішення для енергії потоку з урахуванням теплообміну (явне) має вигляд:

$$\frac{d(me)}{dt} = -p \frac{dV}{dt} + \sum_{boundaries} (\dot{m} H) - hA_s(T_{fluid} - T_{wall}) \quad (3.4)$$

Рішення для ентальпії (неявне) потоку:

$$\frac{d(\rho HV)}{dt} = \sum_{boundaries} (\dot{m} H) + V \frac{dp}{dt} - h A_s (T_{fluid} - T_{wall}) \quad (3.5)$$

Динаміку процесу руху в'язкої рідини, що стискається описує рівняння інерції:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dpA + \sum_{boundaries}(\dot{m}u) - 4C_f \frac{\rho u|u|}{2} \frac{dxA}{D} - K_p \left(\frac{1}{2} \rho u|u|\right) A}{dx}, \quad (3.6)$$

де: m - гранична масова витрата (на ділянці dx);

m - маса об'єму палива;

V - об'єм;

p - тиск;

ρ - щільність;

A - площа поперечного перерізу потоку;

A_s - площа поверхні теплопередачі;

e - загальна питома внутрішня енергія;

H - загальна питома ентальпія;

h - коефіцієнт теплопередачі;

T_{fluid} - температура палива;

T_{wall} - Температура стінок;

u - швидкість на кордоні;

C_f - коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині трубопроводу;

K_p - коефіцієнт втрат тиску, при згинанні, конусності або обмеження;

D - еквівалентний діаметр;

dx - довжина елемента маси в напрямку потоку (довжина дискретизації);

dp - перепад тиску на ділянці dx .

Загальна питома ентальпія палива визначиться з урахуванням загальної питомої внутрішньої енергії, виходячи з відомого рівняння:

$$H = e + \frac{p}{\rho} \quad (3.7)$$

У математичному описі прийняті такі припущення:

1. Миттєві значення швидкості течії рідини, що не встановлюються, визначаються за формулами течії рідини, що встановилася.
2. Робочі процеси перебігу рідини ізотермічні.
3. Якір клапана в зборі з кулькою розглядається як одномасова система.
4. Голка розпилювача і шток мультиплікатора розраховується як єдина маса.
5. Тиск у паливному акумуляторі становить 400 – 1000 МПа.

Граничні умови представимо у загальному вигляді рівнянням масового балансу [31]:

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \frac{\frac{1}{\rho_i} \sum_{k=1}^K G_{i-k} + \sum_{n=1}^N u_{i-n} A_n + \sum_{j=1}^J \frac{dV_{i-j}}{dt}}{\alpha V_i}, \quad (3.8)$$

де:

t - час;

p - тиск палива;

ρ – щільність палива;

G_{i-k} – масова витрата палива між i -ою та i -ою порожнинами;

U_{i-n} – швидкість втікання з i -го паливопроводу;

A_n - площа поперечного перерізу i -го паливопроводу;

p_i - поточний тиск i -ої порожнини;

V_i - поточний обсяг i -ої порожнини;

α - коефіцієнт стисливості палива.

Коефіцієнт стисливості палива і швидкість звуку, безпосередньо, у вирішенні цих рівнянь не використовуються. Однак, швидкість звуку і коефіцієнт стисливості можуть бути розраховані за допомогою наступних виразів [14]. Швидкість звуку визначається як:

$$c = \sqrt{\gamma \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T^{-1}}, \quad (3.9)$$

де: γ - відношення питомих теплоємностей.

Оскільки щільність є точною функцією тиску і температури, ми можемо використовувати властивість похідних для перетворення dp/dT у похідні щільності по відношенню до тиску і температури.

Нарешті, ми перетворимо вираз, щоб отримати остаточне вираження для γ :

$$\gamma = \left(1 - \frac{T(\partial\rho/\partial T)|_p^2}{c_p\rho^2(\partial\rho/\partial p)|_T}\right)^{-1} \quad (3.10)$$

Адіабатичний коефіцієнт стисливості визначиться як:

$$\alpha_{ad} = \rho\gamma \cdot \left(\left(\frac{\partial\rho}{\partial p}\right)\Big|_T\right)^{-1} = \gamma\alpha_{is}, \quad (3.11)$$

де: α_{is} – ізотермічний коефіцієнт стисливості.

При моделюванні зміни щільності залежно від тиску та температури застосовано наближення першого порядку. Цей підхід справедливий, коли коефіцієнт стисливості та теплового розширення відомі в одній точці або в декількох точках [17, 23].

Наведене вище рівняння можна переставити для рішення для коефіцієнта витрати, на основі заданого експериментального перепаду тиску і витрати через клапан:

$$\mu_f = \sqrt{\left(2\Delta P_{st} \cdot \rho^{-1} \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4} \cdot Q^{-1}\right)^2 + (D \cdot D_{up}^{-1})^4\right)^{-1}}, \quad (3.12)$$

де: Q - об'ємна витрата палива;

D_{up} – вхідний діаметр дроселя або клапана;

ΔP_{st} - падіння статичного тиску на дроселі або клапані;

D – характерний діаметр дроселя чи клапана;

ρ - щільність палива.

У загальному випадку масова витрата визначиться як:

$$\dot{m} = \rho A u, \quad (3.13)$$

де: ρ - щільність палива;

A – площа ефективного прохідного перерізу;

u – швидкість потоку.

Масовий витрата через граничний переріз визначимо на основі наступного виразу:

$$\frac{dm_{i-k}}{dt} = G_{i-k} = \rho_k \cdot \text{sign}(p_k - p_i) (\mu f)_{i-k} \sqrt{\frac{2}{\rho_k} |p_k - p_i|}, \quad (3.14)$$

де $(\mu f)_{i-k}$ – ефективний прохідний переріз між i -ою та i -ою порожнинами.

Розроблена структурна схема процесу функціонування електрогідравлічних форсунок з урахуванням зносу клапана камери управління дозволяє виконувати аналіз впливу на об'єкт дослідження зовнішніх та внутрішніх факторів, а також параметрів технічного стану. За результатами аналізу схеми сформована математична модель досліджуваного процесу.

4 БЕЗПЕКА І ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ПРОЕКТУ

4.1 Загальні вимоги щодо охорони праці

1. До виконання робіт з ремонту паливної апаратури допускаються особи, які досягли 18-річного віку, та минулі:

- відповідну професійну підготовку, зокрема з питань охорони праці;
- попередній при прийомі на роботу та періодичні медичні огляди та визнані придатними за станом здоров'я до роботи слюсарем з ремонту паливної апаратури, далі «слюсарем»;
- вступний та первинний інструктаж на робочому місці;
- стажування та перевірку знань з питань охорони праці.

Слюсаря проходять повторний інструктаж з охорони праці у строки не рідше одного разу на шість місяців та щорічну перевірку знань з питань охорони праці.

Особи, що допускаються до роботи з електроінструментом класу I у приміщеннях з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом та поза приміщеннями, повинні мати групу з електробезпеки не нижче II, а до роботи з електроінструментом II та III класу – I групу з електробезпеки.

2. Слюсар зобов'язаний:

- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;
- виконувати лише ту роботу, яка доручена безпосереднім керівником робіт;
- знати та вдосконалювати методи безпечної роботи;
- дотримуватися технології виконання робіт, застосовувати способи, що забезпечують безпеку праці, встановлені в інструкціях з охорони праці та посібниках з експлуатації інструменту та пристроїв;
- використовувати інструмент, пристрої, інвентар за призначенням, про їх несправність повідомляти керівника робіт;
- знати місцезнаходження та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння;
- негайно повідомити керівника робіт про будь-яку ситуацію, що

загрожує життю або здоров'ю працюючих та оточуючих, про нещасний випадок, що стався на виробництві;

- пройти відповідну теоретичну та практичну підготовку та вміти надавати долікарську медичну допомогу постраждалим у разі нещасних випадків;

- за необхідності забезпечувати доставку (супровід) потерпілого до закладу охорони здоров'я;

- дотримуватись правил особистої гігієни;

- відповідно до характеру виконуваної роботи правильно використовувати надані йому засоби індивідуального захисту, а у разі їх відсутності чи несправності повідомити про це безпосереднього керівника.

4. Слюсарю заборонено появу на робочому місці у стані алкогольного, наркотичного та токсичного сп'яніння, а також розпивання спиртних напоїв, вживання наркотичних, токсичних та психотропних речовин у робочий час та за місцем роботи.

5. У процесі роботи на слюсаря можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищена чи знижена температура повітря робочої зони;

- гострі кромки інструментів та обладнання;

- підвищена загазованість повітря робочої зони;

- підвищений рівень шуму на робочому місці від електрифікованого інструменту, обладнання та вентиляції;

- робота з легкозаймистими, вибухонебезпечними та токсичними речовинами;

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;

- недостатня освітленість робочого місця.

6. Курити дозволяється лише у спеціально обладнаних місцях. Не допускається куріння у невстановлених місцях та користування відкритим вогнем у місцях, де проводиться заправка машин паливом та олією.

7. Слюсар повинен користуватися лише тим інструментом, пристроями, обладнанням, роботи з якими він навчений, проінструктований за безпечними методами праці. Працівники без необхідних засобів індивідуального захисту або з несправними засобами захисту на роботу не допускаються.

8. Слюсар повинен знати пристрій, основні несправності паливної апаратури різних систем; способи усунення несправностей; способи якісного регулювання паливної апаратури

9. Перебуваючи на території організації слюсарю забороняється торкатися електроустаткування, клем та електропроводів, арматури загального освітлення, відчиняти дверцята електрошаф. Включати та зупиняти (крім аварійних ситуацій) машини, верстати та механізми, робота на яких не доручена йому керівництвом. Стояти чи проходити під піднятим вантажем. Проїжджати на підніжках та крилах автомобілів.

10. Обслуговування паливної системи автомобіля виконується на постах, ремонт – у цехах, обладнаних необхідними пристроями та пристроями.

11. Робочий інструмент має бути справним. Необхідно стежити, щоб гайкові ключі не мали вироблення зівів і точно відповідали розмірам гайок та штуцерів. Бійки молотків і голівки зубил, крейцмейселів не мали задирок; довжина зубил, крейцмейселів та виколоток була не менше 150 мм.

12. Рукоятки молотків були гладкими, прямими, овальної форми та заклинені; перетин кінця рукояток було в 1,5 рази більше, ніж у основи молотка. Рукоятки напильників, шаберів та іншого ручного інструменту були надійно закріплені; для запобігання розколюванню рукояток на них було насаджено металеве кільце. Користуватися інструментом, рукоятки якого мають тріщини, скріплені дротом або шпагатом або інструментом без рукояток, забороняється.

13. Тиски мали справні губки та затискний гвинт.

14. Вмикати машини, електроінструменти та освітлювальні лампи

можна лише за допомогою пускачів, рубильників. Не дозволяється з'єднувати та роз'єднувати дроти, що знаходяться під напругою. За потреби подовження проводів слід викликати електромонтера.

15. Слюсар зобов'язаний сприяти та співпрацювати з наймачем у справі забезпечення здорових та безпечних умов праці, негайно сповіщати свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу наймача про несправність обладнання, інструменту, пристроїв, транспортних засобів, засобів захисту, про погіршення стану свого здоров'я.

16. За невиконання цієї інструкції слюсар несе відповідальність відповідно до законодавства.

Вимоги щодо охорони праці перед початком роботи

17. Перевірити справність засобів індивідуального захисту, необхідних для виконання роботи, одягти спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту.

18. Перевірити своє робоче місце. Переконатися, що вона не захащена сторонніми предметами. При необхідності очистити робоче місце та підходи до нього від сміття та сторонніх предметів.

19. Підготувати до роботи обладнання, пристрої та інструмент, перевірити їх справність.

20. Отримати завдання у керівника робіт.

21. Перевірити наявність достатньої кількості засобів для знешкодження випадково розлитого етилованого бензину (гас, хлорне вапно, тирса, пісок, ганчір'я).

22. У разі виявлення несправностей в електромережі або в електрообладнанні на посаді обслуговування або цеху викликати електромонтера. Усувати ці несправності самостійно забороняється.

23. При ремонті паливної апаратури на автомобілі виконати заходи щодо запобігання утворенню іскор шляхом зняття клем акумулятора або відключення його спеціальним пристроєм.

24. Виявлені порушення вимог безпеки праці повинні бути усунуті

власними силами, а за неможливості зробити це слюсаря, зобов'язані повідомити про них керівника робіт.

4.2 Техніка безпеки при ремонті, збиранні та випробуванні

На робочих місцях, виробничих площах цехів, відділень умови праці повинні відповідати Правилам з охорони праці при технічному обслуговуванні та поточному ремонті тягового рухомого складу, а також чинним Правилам техніки безпеки та виробничої санітарії для цехів та ділянок підприємств залізничного транспорту. Для забезпечення безпечних умов праці депо мають бути розроблені місцеві інструкції.

4.3 Вимоги до будівель приміщень, пристроїв та споруд

Виробничі приміщення, споруди, територія повинні відповідати вимогам чинних санітарних норм проектування промислових підприємств та пожежної безпеки для промислових підприємств. Проходи всередині виробничих ділянок та відділень повинні мати ширину не менше 1,0 м. Ширина проїздів для авто та електрокарів вздовж виробничої ділянки має бути 1,8 м, торцевих стін-3м відповідно до норм технологічного проектування. Проходи та проїзди не допускається захащувати обладнанням та різними матеріалами. Будинки та приміщення повинні утримуватися у справному стані та чистоті. Для кожного цеху, відділення має бути встановлений порядок прибирання приміщень та графік огляду перекриттів, а також очищення від пилу та забруднень віконних отворів та ліхтарів. Підлоги не повинні допускати пилоутворення, проникнення в приміщення ґрунтових вод та шкідливих газів. У цехах розміщуються аптечки для надання першої допомоги, раковини з гарячою та холодною водою, автомати з газованою водою. Ворота в стійловій частині депо щільно зачиняються. Механізм відкриття воріт стійлової частини повинен бути заблокований з пристроєм включення теплових завіс. Оглядові канави повинні мати гладкі стіни, що легко миються, освітлення, опалення, а дно канави - ухил до збірних колодязів. Ніші, влаштовані для розміщення світильників повинні

бути захищені від попадання мастила та бруду. Температура, відносна вологість та швидкість руху повітря у робочій зоні при всіх видах поточного ремонту та технічного обслуговування мають бути відповідно до ГОСТ 12.1.005-76. Повітря, яке видаляється загальнообмінною системою вентиляції, не повинно забруднювати повітря житлових районів. Рівні шуму у виробничих приміщеннях не повинні перевищувати норм встановлених ГОСТ 12.1.003-83. Виробничі, допоміжні та складські приміщення депо та ділянок забезпечуються засобами пожежогасіння. Пристрої внутрішнього протипожежного водопроводу у виробничих та складських будинках депо та ділянок, а також зовнішнього протипожежного водопроводу на території депо повинні відповідати вимогам. Для гасіння займання електропроводів та електропроводки повинні використовуватися лише вуглекислотні вогнегасники та сухий пісок.

Приміщення у відділеннях, ділянках з ремонту паливної апаратури повинні бути чистими та світлими, підлоги та стіни повинні бути стійкими до речовин, що містяться у паливі та не допускати їх накопичення (сорбції). Воно має розташовуватись у двох приміщеннях: одне – для випробувальних стендів форсунок, плунжерних пар, паливних насосів, регуляторів частоти обертання, інше – для ремонту паливної апаратури. Мийні машини повинні мати витяжну вентиляцію, захисні штори та повинні бути обладнані пристроями для очищення, повторного використання та відведення стічних вод, механізованого видалення мулу та залишків сміття. Стенди та ванни для видалення парів дизельного палива та освітлювального гасу мають бути обладнані індивідуальними відсмоктувачами. Приміщення для випробувань повинно бути відокремлене від інших приміщень звуконепроникними стінами та мати витяжну вентиляцію. У ремонтних верстатів також влаштовують поздовжні відсмоктувача для видалення парів палива і гасу. Для відведення пролитих на підлогу рідин необхідно мати стоки (ухили) до збірних колодязів. Робоче місце слюсаря з ремонту паливної апаратури має бути оснащене технологічним обладнанням, що забезпечує безпечні умови праці. Для кожного працюючого

має бути обладнане зручне робоче місце, яке забезпечене достатньою площею для розміщення допоміжного обладнання, стелажів та верстатів для зберігання деталей, інструментів, пристроїв. Для підймання деталей та вузлів повинні бути встановлені вантажопідйомні механізми.

4.4 Правила техніки безпеки слюсаря з ремонту паливної апаратури

До самостійної роботи з технічного обслуговування та поточного ремонту тепловозів та дизельпоїздів допускаються працівники не молодше 18 років, які пройшли обов'язковий попередній (при вступі на роботу) медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці, первинний інструктаж з охорони праці на робочому місці, інструктаж, професійне навчання, що відповідає характеру роботи, стажування та перевірку знань з електробезпеки комісією депо з присвоєнням відповідної групи з електробезпеки. У процесі роботи слюсар повинен проходити повторні, позапланові та цільові інструктажі з охорони праці у встановлені терміни. Слюсар повинен знати: призначення, будову та принцип дії дизеля, електричних машин та апаратів, екіпажної частини, механічного та пневматичного обладнання тепловозів, дотримуватись вимог технологічних процесів та застосовувати безпечні прийоми праці; містити у справному стані та чистоті інструмент, прилади, стенди, пристосування, інвентар, засоби індивідуального захисту, виконувати вимоги забороняючих, попереджувальних, вказівних та приписувальних знаків безпеки та написів, а також сигналів, що подаються машиністами локомотивів, мотор-вагонного рухомого складу. Слюсар повинен забезпечуватися спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Слюсар повинен виконувати вимоги пожежної безпеки, курити лише у встановлених та пристосованих для цього місцях, не користуватися водою для пиття з не призначених для цього ємностей, а також зберігати ємності з антинакипіном, антифризом та електролітом у місцях їди та цехах. При виявленні порушень вимог охорони праці, пожежної безпеки, несправностей обладнання, інструменту, захисних пристроїв, засобів захисту, освітлення, опалення, вентиляції, які створюють

небезпеку для життя працівників або є причиною аварії, пожежі, нещасного випадку, погіршення стану здоров'я, слюсар зобов'язаний негайно повідомити про це майстра (бригадира), а за його відсутності вищому керівнику. У разі отримання травми або захворювання слюсар повинен припинити роботу, повідомити про це свого безпосереднього керівника і звернутися за допомогою до медпункту. У разі отримання травми іншим працівником слюсар повинен припинити роботу, вжити заходів щодо надання першої допомоги потерпілому та негайно сповістити про нещасний випадок свого безпосереднього керівника.

Перед початком роботи слюсар повинен надіти належний йому справний спецодяг, спецвзуття і привести їх у порядок: застебнути на гудзики обшлага рукавів; заправити вільні кінці одягу так, щоб він не звисав. Несправний інструмент та пристрої повинні бути замінені на справні. Інструмент на робочому місці слід розташовувати так, щоб унеможлилювалася його скочування або падіння. Слюсар зовнішнім оглядом повинен перевірити стан інструменту. Підготовлений до роботи інструмент має бути справним. Електрифікований інструмент не повинен мати пошкоджень кабелю (шнура), його захисної трубки та штепсельної вилки, ізоляційних деталей корпусу, рукоятки, кришок щіткотримачів та захисних кожухів. Перед роботою у приміщенні слюсар повинен перевірити роботу витяжної вентиляції та місцевого освітлення. Перед початком роботи слюсар повинен перевірити закріплення тепловоза від догляду ручним гальмом та гальмівними черевиками, стійкість майданчиків, плит настилу підлоги дизельного приміщення, відсутність оливи та палива на їх поверхні, від'єднання від тепловоза кабелів стороннього джерела живлення тягових електродвигунів та відкрити двері та люки капоті) тепловоза.

Під час роботи слюсарю забороняється без вказівки майстра (бригадира) виконувати роботу, що не входить до його обов'язку, проводячи роботи на тепловозі слід переконатися, що тепловоз спереду та ззаду з правої та лівої сторін огорожений чотирма попереджувальними знаками "Увага! Небезпечне місце". необхідно відключити акумуляторну батарею, на її рубильник вивісити

плакат "Не вмикати! Працюють люди". Перед технічним обслуговуванням тепловоза (дизель-поїзда) на депівських коліях необхідно переконатися, що тепловоз (вагон дизель-поїзда) з торцевих сторін огорожений переносними сигналами у вигляді прямокутних щитів червоного кольору "Стій! Забороняється проїжджати сигнал". При виконанні робіт під кузовом або на даху тепловоза слюсар повинен надіти захисну каску, а при відсутності в депо, технологічних стаціонарних платформ (естакад) на рівні даху тепловоза або пересувних майданчиків слюсар повинен додатково користуватися запобіжним поясом, страхувальний канат якого повинен кріпитися до спеціально протягнутих робочим місцем тросу. Забороняється тримати на даху тепловоза (вагона дизель-поїзда) зайві деталі та інструмент. Слюсар зобов'язаний застосовувати засоби індивідуального захисту навушники, що шумоізолюють, рукавички і респіратор - для захисту органів дихання від газів, парів дизельного палива і масла. Щоб запобігти шкірним захворюванням (дерматиту) у слюсарів, що працюють на випробуванні паливних насосів, необхідно при роботі користуватися захисними пастами. Слюсар, який виконує роботи відсіку дизеля, повинен використовувати для освітлення переносні електричні світильники напругою не вище 12 В. Знімати та ставити агрегати масою понад 30 кг слід з використанням вантажопідйомного механізму (крана), а при ручному знятті (установці) – удвох. При розбиранні паливних насосів високого тиску слюсар повинен застосовувати пристосування для стиснення пружини плунжера. При цьому корпус насоса має бути надійно закріплений на стенді. Промивання освітлювальним гасом, бензином, обдування стисненим повітрям та випробування паливної апаратури на стенді повинні проводитися з включеною місцевою витяжною вентиляцією. Забороняється безпосередній контакт із робочою поверхнею та робочою рідиною ультразвукової мийної машини під час її роботи. Завантаження деталей, що підлягають очищенню, і їх вивантаження слід проводити при вимкненій машині. При цьому для захисту рук від несприятливої дії контактного ультразвуку необхідно користуватися спеціальними рукавичками. ремонт насос деталей очищення.

Після закінчення роботи слюсар повинен: упорядкувати своє робоче місце; скласти інструмент, інвентар та пристосування в спеціально призначені для них місця або здати в інструментальну комору Спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту слюсар повинен зняти та прибрати в шафу вбиральні Після роботи слід вимити руки з милом і змастити борним вазеліном або ланоліновим кремом, злегка втираючи його в шкіру. Не допускається застосування гасу чи інших токсичних нафтопродуктів для очищення шкірного покриву та засобів індивідуального захисту. Після роботи та у випадках забруднення шкірних покривів тіла нафтопродуктами слюсар повинен прийняти душ з теплою водою та милом Про всі несправності обладнання, інструменту та пристроїв, помічені під час роботи, та про вжиті заходи для їх усунення слюсар повинен повідомити майстра (бригадира).

ВИСНОВКИ

На основі аналізу та синтезу результатів робіт, практики використання автотракторних ДВЗ з електронною системою керування подачею палива електронасосами встановлено первинність погіршення їх працездатності через засміченість елементів паливоподачі (фільтри, паливопроводи), а при збільшенні напруцювання ЕТН та через знос механічних елементів частин.

Вимоги до систем упорскування дизельного палива постійно зростають. Вищі тиски впорскування, підвищені швидкості спрацьовування форсунок і гнучке налаштування робочого процесу до умов експлуатації автомобіля роблять двигун більш потужним, економічним і малотоксичним. Крім того, система впорскування палива все більше інтегрується в загальну електронну схему керування автомобілем. Однією з таких високорозвинених систем упорскування є акумуляторна система Common Rail, основною перевагою якої є широкий діапазон зміни тиску палива та моменту початку упорскування. Це реалізується шляхом поділу процесів створення тиску та забезпечення упорскування палива.

Це визначило необхідність розробки методів та засобів діагностування технічного стану ЕТН та загалом усіх елементів паливної магістралі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авіаційні електричні апарати і механізми / під ред. Д.Н.Сапіро, Оборонгиз, 1962- 325 с.
2. Хом'як І.В., Андрійчук Т.В. Охорона природи: навчальний посібник для студентів природничих спеціальностей. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 245 с.
3. Михайлов В.М., Марченко А.П., Пилипенко О.І. Паливна апаратура дизельних двигунів : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2010. 196 с.
4. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с.
5. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Т. 1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин : підручник. Харків: Прапор, 2004. 384 с.
6. Митрофанов О. С. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін. – Миколаїв : видавець Торубара В.В., 2018. – 152 с.
7. Абрамчук, Ф.І. Автомобільні двигуни: Підручник- 4-е видання / Ф.І.Абрамчук Ю.Ф. Гутаревич Ю.Ф.,К.Є. Долганов , І.І Тимченко.-Київ: Арістей, 2009.- 476 с.
8. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: монографія. Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 244 с.
9. Коляденко Д.Л.Економіка виробництва сільськогосподарської продукції.Методичні рекомендації для підготовки до практичних занять та самостійної роботи студентів з дисципліни «Економіка виробництва сільськогосподарської продукції» спеціальності 8.18010017 «Економіка довкілля і природних ресурсів» ОКР «Магістр»— Вінниця: ВНАУ, 2017. - 89с.
10. Методика визначення економічної ефективності технологій і

сільськогосподарської техніки. Нормативно-довідковий матеріал.

11. Антипенко А.М., Войтов В.А. Кліманов П.М. та ін. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали : навч. посіб. для дистанційного навчання. - Харків : Віровець А.П. "Апостроф", 2010. 234 с.

12. Гащук,П. Автомобільні двигуни. Тепловий та динамічний розрахунок [Текст]: Навчальний посібник/ Гащук П., Миськів Т., Нікипчук С. - Львів:Українські технології, 2006.-144 с.

13. Федоров В.Г. Гідравліка і гідропривод: довідник / В.Г. Федоров, Н.С. Мамелюк, О.І. Кепко, О.С. Пушка; за ред. В.Г.Федорова. Умань: Видавничополіграфічний центр «Візаві», 2017. – 135 с.

14. Желібо Є.П., Гандзюк М.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2023. 384 с.

15. абродський П.М., Кухарець С.М., Шелудченко Б.А. Деталі машин : навчальний посібник. Житомир: Поліський національний університет, 2021. 167 с.

16. Блінков, О.О. Автомобільні двигуни [Текст]: Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування автомобільних двигунів/ Блінков О. О., Ковра О. В., Теплечук А. М., Мацей Р.О. – Одеса: ОНПУ, Наука і техніка, 2007. - 80с..

17. Возній, М.М. Конструкція двигунів внутрішнього згорання: Навчальний посібник / М.М. Возній. Львів: Друкарня ЛВІ НУ «Львівська політехніка», 2004.–171 с.

18. Михайлов В.М., Марченко А.П., Пилипенко О.І. Паливна апаратура дизельних двигунів : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХП», 2010. 196 с.

19. Гутаревич Ю.Ф., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. Сучасні паливні системи дизелів : навчальний посібник. Київ: НТУ, 2017. 248 с.

20. Osipowicz T., Abramek K.F. Diagnosing methods common rail fuel injectors // Combustion Engines. 2017. Vol. 170, No. 3. P. 47–53. DOI: 10.19206/CE-2017-308.

21. Ambrozik A., Ambrozik T., Łagowski P.: Fuel impact on emissions of harmful components of the exhaust gas from the CI engine during cold start-up, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 1/2015.
22. Günther H.: Common Rail – Systeme in der Werkstattpraxis. Technik, Prüfung, Diagnose. Bad Wörlhofen: Kraftland Verlag Walter Schultz GmbH, 2012.
23. Stoeck T., Osipowicz T., Abramek K.F.: Methodology for the repair of Denso Common Rail solenoid injectors. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2/2014.
24. Stoeck T., Osipowicz T.: The use of Newton's method for interpolation in the bench testing of compression-ignition engine unit injector systems, *Combustion Engines*, 159(4)/2014..

ДОДАТКИ