

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Львівський інститут  
(назва факультету)


Рухомий склад залізниць і колія  
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
«Бакалавр»  
(ступінь вищої освіти)

на тему: Удосконалення технологічного процесу діагностування паливної апаратури ДВЗ на базі локомотивного депо «Львів-Захід»

за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство»  
зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»  
(шифр і назва спеціальності)

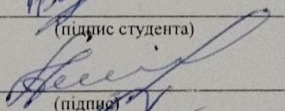
Виконав: студент групи: ЛГ 18118

  
(підпис студента)

/Лван ПОЛІЩУК /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

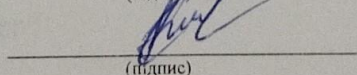
Керівник:

  
(підпис)

/ст. викладач, Андрій КУЗИШИН/

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

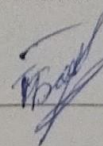
  
(підпис)

/викладач, Іван КРАВЕЦЬ/

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

  
(підпис)

Львів – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies

Lviv Institute

(faculty)

Rolling stock of railways and tracks

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

«Bachelor»

(higher education degree)

on the topic: Improvement of the technological process of diagnosing the fuel equipment of internal combustion engines based on the locomotive depot «Lviv-West»  
according to educational curriculum Locomotives and locomotive economy  
in the Speciality: 273 “Railway transport”

(speciality and its code )

Done by the student of the group: LG18118

/Ivan Polishchuk/

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/senior lecturer, Andrii KUZYSHYN/

(position, name, surname)

Normative controller :

/lecturer, Ivan KRAVETS/

(position, name, surname)

## ЗМІСТ

ПЕРЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	6
ВСТУП .....	7
1 ОСНОВНІ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	9
1.1 РЕЖИМИ РОБОТИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДВЗ .....	10
1.2 ЗАДАЧІ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ОСНОВНІ ТЕРМІНИ .....	15
1.3 КЛАСИФІКАЦІЯ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ .....	19
2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗА .....	22
2.1 ВІБРОАКУСТИЧНИЙ МЕТОД .....	22
2.2 МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ЗА ДІАГРАМОЮ ТИСКУ В ПАЛИВНІЙ СИСТЕМІ .....	25
ВИСОКОГО ТИСКУ .....	25
2.3 МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ПО ХОДУ ГОЛКИ ФОРСУНКИ .....	29
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФОРСУНОК ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДВЗ .....	34
3.1 ВІЗУАЛЬНИЙ МЕТОД РОБОТИ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ВИСОКОГО ТИСКУ .....	34
3.2 МЕТОД ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФОРСУНОК ЗА ДОПОМОГОЮ СТЕНДУ А-106 ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ТА ПОТОЧНИХ РЕМОНТАХ В ЛОКОМОТИВНОМУ ДЕПО «ЛЬВІВ-ЗАХІД» .....	36
3.3 МОДЕРНІЗАЦІЯ І ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ СТЕНДУ А-106 .....	37
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	42

0041.180559.01.ВКР.ПЗ								
Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Удосконалення технологічного процесу діагностування паливної апаратури ДВЗ на базі локомотивного депо «Львів-Захід»	Літера	Аркуш	Аркушів
Разробив		Іван ПОЛІЩУК	<i>[Підпис]</i>	17.06.22			5	44
Консульт						ЛІ УДУНТ		
Керівник		Андрій КУЗИШИН	<i>[Підпис]</i>	17.06.22				
Н. контр.		Іван КРАВЕЦЬ	<i>[Підпис]</i>	17.06.22				
Зав.каф.		Олена БАЛІ	<i>[Підпис]</i>	17.06.22				

**(ЗАВДАННЯ НА РОБОТУ (ОКРЕМИЙ ДОКУМЕНТ, ОДИН ЛИСТ З  
ДВОХ СТОРІН ЗГІДНО ШАБЛОНУ)**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

43 с., 11 рис., 20 джерел.

Об'єкт розробки – дослідження систем діагностування паливної апаратури високого тиску.

Мета роботи – провести дослідження та запропонувати шляхи модернізації існуючих методів діагностування паливної апаратури високого тиску.

В даній роботі було розглянуто методи і засоби діагностування паливної апаратури високого тиску тепловозних двигунів внутрішнього згорання, задачі та їх види, особливості конструкції, а також переваги та недоліки кожного з них. Запропоновано вдосконалити технологію діагностування паливної апаратури високого тиску в локомотивному депо «Львів-Захід» використовуючи сучасні інформаційні технології. Показано можливість використання датчиків ходу плунжера насосу та тензOMETричного датчика тиску, що дозволить більш ефективно, оперативно та детально визначати технічний стан форсунки.

Отримані результати в подальшому можна використовувати під час дослідження технічного стану паливної апаратури високого тиску, що дозволить оперативніше визначати параметри її роботи та забезпечувати безпечну експлуатацію тягового рухомого складу.

Ключові слова: ДІАГНОСТУВАННЯ, ДВЗ, ТЕПЛОВОЗ, ПАЛИВНА АПАРАТУРА ВИСОКОГО ТИСКУ, СИСТЕМА, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ФОРСУНКА.

**ПЕРЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

УЗ	Укрзалізниця
ДВЗ	Двигун внутрішнього згорання
ЗТ	Залізничний транспорт
ТРС	Тяговий рухомий склад

						Арк.
						7
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## ВСТУП

У дипломній роботі буде розглянуте запитання удосконалення технологічного процесу діагностування паливної апаратури ДВЗ, а саме дослідження сучасних методів діагностування. Наведено приклади методів діагностики паливної апаратури ДВЗ. Розглянуто принцип діагностики певними методами, параметри, за якими ведеться діагностика паливної апаратури, а також недоліки того чи іншого методу.

Сьогодні тенденція розробки і виготовлення тепловозів вимагає все більшої уваги. При створенні і модернізації нових тепловозів ДВЗ вибирають по таких критеріях як: надійність, потужність, економічність паливна, маса, габаритні розміри і вартість одиниці виконаної роботи. Економічність роботи тепловоза визначається економічністю силової установки – ДВЗ. Основні вимоги до ДВЗ направлені на його економічне технічне обслуговування, надійність, мінімальну витрату палива і інші витрати в процесі його експлуатації. Одним з найважливіших напрямків підвищення ефективності роботи та економічності тепловоза є удосконалення конструкції і технічного обслуговування системи паливоподачі.

Паливна апаратура є основним компонентом ДВЗ. Її основною задачею є подача палива для забезпечення робочого процесу. При цьому, вона повинна бути технологічною і відносно простою по конструкції, забезпечувати надійність, довговічність і зручність при виготовленні, монтажі, демонтажі, ремонті і обслуговуванні в експлуатації. Форсунка належить до головних компонентів паливної апаратури. Завдяки їй забезпечується утворення туманоподібної суміші у камері згорання. Це забезпечує якісний робочий процес. Істотне погіршення потужності, паливо-економічних показників ДВЗ можна пояснити зміною технічного стану елементів паливних систем, у тому числі і конкретно форсунок. На якість роботи паливної системи високого тиску впливають різні експлуатаційні чинники: характер і обсяг робіт, кліматичні умови, показники палива, система ремонту і технічного огляду та обслуговування локомотива. Для забезпечення економічності і мінімальної

						Арк.
						8
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

витрати палива та якісного робочого процесу проводиться діагностика паливної системи, в даному випадку форсунки. Не належне діагностування паливної апаратури в кінцевому результаті впливатиме на потужність, економічність і витрату палива.

У парку УЗ знаходиться 1944 тепловоза, а це 54.43% всього локомотивного парку, тому удосконалення технологічного процесу діагностування паливної апаратури в даному випадку форсунки є важливим і актуальним на даний момент.

*Мета роботи* – провести дослідження та запропонувати шляхи модернізації існуючих методів діагностування паливної апаратури високого тиску.

*Об'єктом дослідження* в даній роботі є паливна апаратура.

*Предметом дослідження* є методи діагностування технічного стану паливної апаратури.

						Арк.
						9
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

# 1 ОСНОВНІ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Справний стан локомотива характеризується як стан, що відповідає всім вимогам, встановлених нормативно-технічними документами, та встановленими параметрами які забезпечують нормальне виконання поставлених задач. Недотримання цих умов свідчить про несправність локомотива. В даний час системи діагностування стають основними для сучасних систем моніторингу та діагностики ДВЗ. Підвищення ефективності та надійності роботи ДВЗ тепловозів в експлуатації безпосередньо залежить від зниження витрат палива, зменшення кількості відмов та непланових ремонтів. Найбільш важливим завданням при проведенні технічного обслуговування та технічних ремонтів в експлуатації є вдосконалення методів та засобів діагностики тепловозів. Одним з найважливіших аспектів при розробці діагностичних систем паливної системи ДВЗ тепловозів є справна робота цієї системи. Насамперед її робота ґрунтується на тому, що на паливну апаратуру високого тиску припадає значна кількість відмов в експлуатації. Відсоток несправностей паливної апаратури високого тиску залежить від типу двигуна, його конструкції та коливається в межах 12-30% [1]. Паливна система тепловоза є конструктивно складною системою. Технічний стан паливної апаратури -тепловозів безпосередньо впливає на велику кількість показників їх роботи. До цих показників відносять потужність, економічність, надійність, санітарні вимоги тощо.

До методів контролю технічного стану паливної системи з точки діагностування ставляться такі вимоги:

- забезпечити максимальну достовірність;
- встановити загальні параметри, кількість яких повинна бути менша від загальної, які повністю охарактеризують об'єкт діагностування;
- визначити несправності за загальними параметрами;
- забезпечити швидку оперативність діагностування та її автоматизацію;
- просте застосування у депо;

						Арк.
						10
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Основною задачею дослідження є аналіз переваг і недоліків методів діагностування паливної апаратури і форсунки в цілому.

### 1.1 Режими роботи тепловозних ДВЗ

ДВЗ називається первинний тепловий двигун в якого процес перетворення хімічної енергії в теплоту і механічну роботу відбувається безпосередньо всередині двигуна.

Виділяють три типи ДВЗ: поршневі, реактивні та газотурбінні. Коефіцієнти корисної дії основних типів ДВЗ досягають наступних значень:

Газотурбінні 0,25...0,3

Поршневі 0,4

Реактивні 0,15...0,25

Класифікація ДВЗ також проводиться по потужності

- малопотужні двигуни з потужністю менше 100 кВт;
- двигуни середньої потужності – 100...1000 кВт;
- надпотужні – більше 1000 кВт;

На ЗТ найбільш поширені надпотужні поршневі двигуни, тому що, мають найвищий коефіцієнт корисної дії та найменшу питому витрату палива. Поряд з тим маса яка у цих двигунах маса яка припадає на 1 кВт потужності є великою. В склад поршневих двигунів входить поршень, кришка циліндра, кривошипно-шатунний механізм та ряд систем, які забезпечують роботу двигуна (забезпечення паливом, газорозподіл, система охолодження, повітропостачання і т.д.)

Під час експлуатації тепловозів режими роботи ДВЗ відрізняються. На це впливають такі фактори як вага поїзда, профіль шляху, погодні умови і технічний стан тепловоза. Режим роботи ДВЗ визначається частотою обертання колінчастого валу, положенням рейки паливного насосу високого тиску і тепловим станом силової установки. До основних режимів, що мають місце в експлуатації, можна віднести наступні:

- сталий (стаціонарний), несталий (нестаціонарний) режими;

						Арк.
						11
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- перехідні режими при запуску двигуна, розгоні наборі і скиданні позицій;
- номінальний та частковий режими навантаження і швидкості;
- режим холостого ходу;

ДВЗ повинен надійно працювати в широкому діапазоні зміни частоти обертання колінчастого валу і потужності. Цей діапазон визначається допустимими умовами роботи двигуна й споживача але може бути обмежений різними чинниками: тепловою й механічною напруженістю деталей двигуна, умовами робочого процесу й спільної роботи турбокомпресора й поршневої частини та ін. Мінімально допустимий швидкісний режим визначається умовами стійкої роботи двигуна [1].

Сталий (стаціонарний) режим – це режим коли момент, що крутить, на колінчастому валу двигуна рівний сумарному моменту опору, а положення паливної рейки, частота обертання і тепловий стан ДВЗ не змінюються [2]. У цьому випадку зберігається статична рівновага:

$$M_e - M_c = 0 , \quad (1.1)$$

де  $M_c$  - момент споживача.

Несталий (нестационарний) режим – це режим коли двигун виробляє енергію меншу або більшу для подолання зовнішнього навантаження, а положення паливної рейки, частоти обертання, тепловий стан, зовнішнє навантаження може змінюватись в часі [2]. Основною ознакою несталого режиму є порушення статичної рівноваги:

$$M_e - M_c \neq 0 \quad (1.2)$$

Перехідний режим – це сукупність неусталених режимів, проміжних між вихідним і кінцевим режимами що встановилися [2]. Важливою характеристикою перехідного режиму є його тривалість, яка визначається з моменту початку зміни циклової подачі палива до встановлення нового сталого режиму.

Робота тепловозних ДВЗ в умовах експлуатації характеризується частими та різкими змінами швидкісних та навантажувальних режимів. Ці зміни визначаються швидкістю руху поїзда, профілем колії, ваги поїзда, напрямом і

						Арк.
						12
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

силою вітру, порою року і часом доби. Кожна зміна навантаження супроводжується перехідним процесом двигуна. Залежно від характеру та величини зміни навантаження перехідні режими можна розділити на два типи:

- перехідні процеси, пов'язані зі значними змінами навантаження та частоти обертання колінчастого валу при зміні положення рукоятки контролера машиніста з одного положення до іншого;

- перехідні процеси, пов'язані з незначними змінами навантаження при незмінному положення рукоятки контролера машиніста. Такі зміни виникають у зв'язку зі змінами зовнішніх умов (зміни профілю колії, боксування колісних пар) або потужності допоміжних агрегатів силових установок тепловоза (включенням або виключенням гальмівного компресора, вентиляторів і т. д.);

Перехідні процеси першого типу через зміни умов керування, які вимагають зміни швидкісного та навантажувального режиму двигуна за рахунок переміщення рукоятки контролера машиніста. Процеси другого типу зумовлені змінами зовнішніх умов, що призводять до виникнення незначних невідповідностей у системі силова установка – споживач які коригуються системою автоматичного регулювання двигуна без втручання машиніста і не відіграють суттєвої ролі у погіршенні техніко-економічних показників [3] [5].

Одним з важливих перехідних режимів є процес запуску двигуна. Процес запуску є дуже важливим в експлуатації, оскільки спостерігається підвищене зношування деталей тертя, різка зміна параметрів робочого процесу, крім цього у двигунів в експлуатації повинен бути забезпечений безвідмовний запуск. Процес запуску тепловозного двигуна включає в себе такі підготовчі етапи:

- 1)прокачування масла і палива (1,5 хв.);
- 2)прогрів двигуна (від стороннього джерела);

Власне процес запуску можна поділити на 4 періоди або фази:

- I фаза – розкручування колінчастого валу від стороннього джерела до появи спалахів палива.

						Арк.
						13
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

•II фаза – розгін двигуна за рахунок збільшення подачі Процес запуску є комплексним перехідним процесом, оскільки при запуску відбувається постійна подача палива до вступу в дію РЧО.

•III фаза – розгін двигуна з одночасним зменшенням подачі палива до значення циклової подачі на холостому ході.

•IV фаза – прогрів двигуна при відносно малій зміні температурного і швидкісного режиму [5].

Є два види запуску ДВЗ холодний і гарячий. Холодним вважається запуск при температурі стінок циліндра  $20^{\circ}\text{C}$  і нижче, гарячим – при температурі  $120^{\circ}\text{C}$  [6].

Для ДВЗ тепловозів характерний перехідний режим розгону. Це процес набирання частоти обертів з малої до необхідної для нас за певний проміжок часу. Найбільш характерний процес розгону для ДВЗ тепловозів є процес за рахунок збільшення подачі палива. Його можна розділити на три фази:

•Перша фаза (час зміни подачі палива, тривалість – доли секунди).

•Друга фаза (значна зміна частоти обертання і робочого процесу, триває до моменту досягнення необхідної нам частоти обертання, тривалість – від декількох секунд до декілька хв, залежить від типу ДВЗ).

•Третя фаза (незначні зміни показників робочого процесу, закінчується з настанням властивих значення новому сталому режиму, тривалість 20-30 хв).

Тривалість даного процесу залежить від багатьох факторів: інтенсивність зміни подачі

палива, момент інерції рухомих частин і агрегатів пов'язаних з колінчастим валом, момент інерції споживання енергії і т. д.

Холостий хід – це режим який відповідає експлуатації ДВЗ без зовнішнього навантаження [2].

Під час експлуатації ДВЗ тепловоза холостий хід займає близько 40-50% від загального часу експлуатації [4]. Це пояснюється тим що в дорозі тепловоз має різні за тривалістю зупинки під час яких потрібно підтримувати тиск в гальмівній магістралі та роботу допоміжного генератора для підзаряду

						Арк.
						14
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

акумуляторних батарей. Враховуючи, що, окрім компресора і допоміжного генератора, потужні тепловозні ДВЗ постійно обертають вентилятори тягових двигунів та інші допоміжні механізми, тому і така частка холостого ходу. У зимовий період час роботи ДВЗ збільшується через необхідність постійної підтримки певного рівня температур води, мастил та палива в баках. Відсутність на тепловозах спеціальних систем підігріву, наприклад підігрівачів від сторонніх джерел, котлів-підігрівачів, акумуляторних підігрівачів та інших, істотно збільшує тривалість роботи ДВЗ на холостому ходу.

Статистичні дані по роботі ДВЗ показують що витрата палива на режимах холостого ходу як під час руху, так і в період прогрівів при стоянках становить 10-12% від загальних витрат [4].

При максимальних потужностях і частотах обертання колінчастого валу ДВЗ працюють в області близькій до мінімальних значень питомої ефективної витрати палива і максимальних індикаторних коефіцієнтах корисної дії, а при малих потужностях і частотах обертання колінчастого валу робота ДВЗ відповідає зростанню питомої ефективності та індикаторної витрати палива. Наприклад, на холостому ході ДВЗ 10д100 питома ефективна витрата палива досягає 800 г/(кВт. год). Збільшення питомої витрати палива або падіння ефективного коефіцієнта корисної дії на цьому режимі в основному обумовлена зменшенням механічного коефіцієнта корисної дії у порівнянні з максимальним навантаженням.

При зменшенні навантаження і постійній частоті обертання колінчастого валу відбувається незначна зміна потужності механічних опорів, отже, інтенсивне падіння механічного коефіцієнта корисної дії. Проте істотну роль грає і зниження індикаторного коефіцієнта корисної дії  $\eta_i = f(a)$ . Коефіцієнт надлишку повітря за навантажувальними характеристиками збільшується. Так при 850 об/хв на ДВЗ 10д100 зміна потужності від номінальної до холостого ходу відповідає зростанню коефіцієнта надлишку повітря в циліндрі від 2.1 до 7.1 і 8.5 при 400 об/хв. Найменші значення  $\eta_i$ , відповідають неномінальним режимам ДВЗ 10д100 на тепловозі і знаходяться за максимумом  $\eta_i = f(a)$  в

						Арк.
						15
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

області підвищених значень  $a$ . Причому  $\eta_i = f(a, \eta_d)$ , чим нижча частота обертання, тим крутіше падіння індикаторного коефіцієнта корисної дії. Зниження індикаторного падіння коефіцієнта корисної дії при великих  $a$  пов'язане зі збільшенням періоду затримки займання суміші, погіршенням сумішоутворення, викликаним зниженням циклової подачі палива та підвищеними відносними втратами палива. Тому зменшення коефіцієнта надлишку повітря, наприклад, за рахунок відключення подачі палива в половину циліндрів, підігріву повітря має дати позитивний ефект, підвищуючи індикаторний коефіцієнт корисної дії в області  $a > 2.5 \div 3$  випрямляючи залежність  $\eta_i = f(a)$  в цій області [7].

## 1.2 Задачі технічного діагностування та основні терміни.

Технічне діагностування – це комплекс робіт для визначення технічного стану локомотива з певною точністю [8].

Технічне діагностування вирішує три типи завдань. До першого типу відносяться завдання визначення стану локомотива в момент обстеження – це встановлення діагнозу. Завдання другого типу спрямовані на прогноз стану, в якому локомотив опиниться в певний момент часу, це завдання прогнозу. До третього типу відносяться завдання визначення стану, в якому знаходився локомотив у певний момент часу в минулому, це завдання генезу. Завдання першого типу формально можна зарахувати до завдань технічної діагностики. Другого типу до технічного прогнозування. А третій тип можна назвати технічною генетикою.

Необхідність використання технічної генетики виникає найчастіше під час розслідувань аварій та їх причин. До завдань технічної прогностики належать такі питання як визначення терміну служби локомотива, його залишкового ресурсу, періодичності ремонту чи огляду. Вирішенням цих завдань пов'язані з встановленням можливих або імовірних еволюцій стану об'єкта початок яких відповідає цьому часу. Таким чином, знання технічного стану в даний момент часу є обов'язковим для генезу та прогнозу, тому технічна діагностика є основою для технічного прогнозу та генетики. Практично всі три процеси є

						Арк.
						16
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

нерозривною діалектичною єдністю, що виражається в динаміці стану функціонуючого локомотива [9].

Інтерес до технічного діагностування тягового рухомого складу пов'язаний з тим, що складність конструкції, інтенсивність експлуатації та підвищення вимоги до надійності та безпеки не дозволяють інтуїтивним та ручним способом визначити його технічний стан. І лише застосування спеціалізованих засобів діагностування дає змогу достовірно визначити технічний стан локомотива.

Технічна діагностика вивчає методи, що визначають дійсний стан технічних об'єктів, на відміну від теорії надійності, що займається вивченням та використанням розрахунків середньоймовірних статистичних показників, що характеризують технічні об'єкти. Існують такі види систем технічного діагностування:

- Тестове, при якому сигнал перевірки формується в блоках системи діагностування та каналами передачі інформації подається на входи об'єкта діагностування. При цьому тестові дії можуть подаватися на основні входи об'єкта та додаткові, що використовуються спеціально для цілей діагностування.

- Функціональне, при якому на основні входи об'єкта діагностування надходять робочі дії, згідно з його робочим алгоритмом функціонування, а сигнали діагнозу знімаються з об'єкта, використовуючи контрольні точки.

- Комбіноване, коли використовуються і тестові та робочі дії, особливо у складних багатofункціональних об'єктах, якими є електровоз та тепловоз.

До основних завдань діагностування відносяться:

- перевірка справності локомотива, його працездатності;
- правильність функціонування та пошук несправностей;
- визначення фізичних властивостей локомотивів та їх несправностей;
- виявлення ушкоджень чи дефектів певних вузлів або деталей на стадії їх розвитку;
- організація обслуговування чи ремонту обладнання за технічним станом;

						Арк.
						17
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- забезпечення підготовки для виконання якісних робіт;
- побудова математичних моделей локомотивів та моделей несправностей;
- аналіз моделі локомотива з метою отримання даних, необхідних для побудови алгоритмів діагностування;

Вирішенням всіх цих завдань можливе лише у тому випадку, коли діагностування проводиться на стадії виробництва, експлуатації та ремонту локомотива.

Однією з головних оцінок якості та експлуатаційних переваг локомотивів є надійність.

Надійність – це властивість локомотиву виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного напрацювання [10]. Надійність виробу обумовлюється безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю, збереженістю. Одним з показників за якими оцінюється надійність і якість утримання тепловозів, а також ефективність роботи ремонтних цехів, є кількість непланових ремонтів та відмов у дорозі. Завдяки системам діагностування можна передбачити відмови заздалегідь і визначити необхідність ремонту локомотива відповідно до фактичного його стану. Чим вище надійність локомотива, тим вищі його техніко-економічні показники і менші його непланові простої, що збільшують час чистої роботи. При цьому економічні показники локомотива підвищуються за рахунок зниження вартості ремонту, так і за рахунок зменшення втрат, спричинених простоєм у ремонті. Нові локомотиви є надійніші за капітально відремонтовані тому, що при капітальному ремонті не завжди дотримуються вимог до матеріалу деталей та допусків на їх виготовлення. Це є однією з причин, що викликають погіршення технічного стану локомотива та його експлуатаційних властивостей, а отже, і надійності. Підвищення надійності локомотивів можна досягну за рахунок:

- довговічності матеріалів деталей та раціональне їх поєднання у парах тертя;
- нормальних умов роботи деталей за найменших втрат на тертя;

						Арк.
						18
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- оптимальних температурних режимів роботи;
- умов змащування деталей що труться;
- ефективних пристроїв для очищення мастила, повітря, палива;
- покращення конструкції та матеріалів ущільнювальних пристроїв та герметизації складальних одиниць;
- достатню жорсткість базових деталей машин, стійкість їх до вібрацій;

Безвідмовність - властивість об'єкта зберігати неперервну працездатність протягом певного проміжку часу. З визначення слід зазначити, що відмов не слід очікувати лише протягом заданого напрацювання чи заданого проміжку часу [10].

Довговічність - це властивість локомотива зберігати працездатність дограничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту [10]. Граничний стан визначається неможливістю подальшої експлуатації локомотива, зумовленої зниженням ефективності або вимог безпеки. Граничний стан обумовлюється в технічній документації (до капітального ремонту або списання, якщо для даного локомотива капітальний ремонт не передбачено). Наприклад, у технічній документації зазначено, за яких параметрів локомотив підлягає ремонту (ДВЗ – внаслідок втрати потужності та при підвищеній витраті паливно-мастильних матеріалів).

Ремонтопридатність - це пристосованість виробу до попередження, виявлення та усунення відмов та несправностей шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів [3]. Усунення відмов передбачає відновлення втраченої працездатності.

Від ремонтпридатності залежать збитки, що виникають через перебування локомотива в непрацездатному стані у зв'язку з проведенням технічного обслуговування та ремонту. Це її найважливіша експлуатаційно-технічна властивість.

Ремонтопридатний вважають такий локомотив, який за раціональних витрат на його проектування, виготовлення та експлуатацію буде мінімальний час перебувати в непрацездатному стані за певний період експлуатації.

						Арк.
						19
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Зберігання - це властивість локомотива зберігати експлуатаційні показники протягом терміну зберігання та транспортування, встановленого в технічній документації [3].

### 1.3 Класифікація діагностичних систем

Під технічним станом локомотива розуміють сукупність властивостей локомотива, встановлених технічною документацією і схильних до зміни в процесі експлуатації. Процес визначення технічного стану об'єкта з певною точністю називається технічним діагностуванням. Основне його завдання полягає у організації ефективних процесів визначення технічного стану локомотива.

Контроль технічного стану – це визначення виду технічного стану. Для визначення виду технічного стану необхідні знання технічного стану, встановленого під час діагностування, та наявність вимог, що характеризують справний чи працездатний стан шляхом завдання у технічній документації номенклатури та допустимих значень кількісних та якісних властивостей об'єкта. При тому самому об'єктивно існуючому технічному стані локомотив може бути працездатним для одних умов експлуатації і непрацездатним для інших. Тому номенклатура властивостей виробу, що включається до технічної документації, повинна містити діагностичні параметри, достатні для проведення тих видів діагностування, які потрібні в умовах експлуатації для перевірки справного та працездатного стану локомотива, його правильного функціонування та пошуку несправностей із заданою глибиною. Остання визначається кількістю діагностичних (контрольованих) параметрів, що визначають надійність локомотива. Чим більше контрольованих параметрів використовується при діагностуванні, тим глибшим і повнішим буде діагностування.

Повнота технічного діагностування - характеристика, що визначає можливість виявлення відмов (несправностей) в локомотиві при вибраному методі його діагностування (контролю) [11]. До засобів діагностування відносяться апаратура, різного роду датчики, перетворювачі, вимірювальні та

						Арк.
						20
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

спеціалізовані прилади, пульти, стенди, обчислювальні пристрої, ДВЗ, його компоненти та ін. Система діагностування має бути обов'язковою складовою системи планово-попереджувального ремонту залізничного ТРС. Системи технічного діагностування призначаються на вирішення наступних завдань: перевірки справності; перевірки працездатності; перевірки правильного функціонування, пошуку дефектів. Вид системи діагностування повинен вибиратися на підставі техніко-економічних розрахунків та технічних вимог, що відображають специфіку процесу діагностування локомотивів у процесі виробництва, експлуатації та ремонту [12].

Системи технічного діагностування можуть бути класифіковані за низкою ознак, що визначають їх призначення, завдання, структуру та склад технічних засобів.

За ступенем охоплення об'єкта діагностування системи технічного діагностування можуть бути локальними та загальними. З допомогою локальних систем вирішується одне чи кілька з перелічених вище задач. Загальні системи технічного діагностування вирішують поставлені завдання.

За характером взаємодії засобів діагностування з об'єктом діагностування системи поділяються на системи функціонального діагностування, в яких інформація про технічний стан локомотива надходить у процесі його нормального функціонування, та системи тестового діагностування, коли інформація про технічний стан об'єкта надходить у процесі подачі на об'єкт спеціальних тестових сигналів.

За використовуваними засобами розрізняють такі системи діагностування:

- з універсальними засобами діагностування та контролю об'єктів різних типів;
- зі спеціалізованими засобами (стенди, імітатори та ін.);
- із зовнішніми засобами, розташованими на постах діагностування, (зв'язок із об'єктом діагностування здійснюється через стикувальні вузли);

						Арк.
						21
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- з вбудованими засобами діагностування, що становлять єдине ціле з об'єктом діагностування та розташованими безпосередньо на об'єкті діагностування.

За ступенем автоматизації системи діагностування можна поділити на автоматичні, в яких обробка та одержання інформації здійснюються без участі людини за заздалегідь розробленою програмою, автоматизовані, в яких одержання та опрацювання інформації здійснюються із застосуванням засобів автоматизації та участю людини, ручні (неавтоматизовані), в яких одержання та обробка інформації здійснюються оператором.

Будь-який об'єкт, що підлягає технічному діагностуванню, має певну структуру та набір діагностичних параметрів, що визначають технічний стан об'єкта і здатність його до виконання заданих функцій. Під діагностичним параметром розуміється параметр, зміна якого призводить або до фізичної відмови, або збільшення інтенсивності процесу накопичення пошкоджень в деталях локомотива. Кількість та набір діагностичних параметрів визначають виходячи із заданої глибини діагностування. Збільшення числа діагностичних параметрів призводить до ускладнення засобів діагностування та їх подорожчання.

						Арк.
						22
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## 2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗА

При розробці діагностичних систем для ДВЗ основна увага приділяється роботі паливної апаратури. Це пояснюється декількома причинами:

- Настройкою паливної апаратури визначаються найважливіші характеристики процесу згоряння - момент запалення палива в циліндрі і якість його подальшого згоряння.

- З досліджень відомо, що на частку паливної апаратури доводиться значна кількість відмов в експлуатації. У залежності від типу двигуна і його конструкції відсоток несправностей, що доводяться на паливну апаратуру, коливається в межах 12-30 %.

Сучасний стан системи ремонту локомотивів пред'являє свої специфічні вимоги до діагностичних систем. Насамперед це універсальність діагностичного обладнання, застосовність його до різних типів двигунів. По-друге, це можливість виконання діагностичних робіт на часткових режимах роботи двигунів або навіть на неодруженому ході. При виборі методу діагностики паливної апаратури традиційно розглядаються три методи:

- віброакустичний;
- по ходу голки форсунки;
- по тиску в паливопроводі високого тиску;

### 2.1 Віброакустичний метод

Віброакустичний метод – це метод діагностування по виникненню коливальних процесів. Він заснований на дослідженні параметрів вібрацій та акустичних шумів при роботі вузлів [11].

Віброакустична діагностика є одним із передових напрямків безрозборної технічної діагностики паливної апаратури ДВЗ. Принцип роботи цього методу полягає у фіксуванні періодичних ударних імпульсів, що виникають у форсунці, за допомогою вібровимірювальної апаратури. У вібровимірювальному устаткуванні встановлюється стандартний

						Арк.
						23
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

п'єзокерамічний приймач прискорень це, як правило, п'єзоелектричний акселерометр, встановлений на трубку високого тиску форсунки за допомогою гвинтової струбцини. Даний пристрій з'єднано з персональною електронно-обчислювальною машиною через звукову плату. Отримані сигнали перетворюються з аналогового вигляду в цифровий, що дозволяє оброблювати отримані криві у цифровому вигляді.

Для підтримки системи у працездатному стані необхідно дотримання деяких умов: до системи додатково повинен бути підключений датчик визначення верхньої мертвої точки для того, щоб виміряти дійсний кут випередження паливоподачі. В якості здійснення контролю поверхні паливної апаратури використовується зовнішня поверхня нагнітального трубопроводу для збільшення рівня автоматизації процесу діагностування та зменшення числа віброакустичних перетворювачів [12].

Використання цього методу діагностування паливної апаратури дозволяє визначити такий діагностичний параметр, як деформацію стінок трубопроводу. В аналого-цифровий перетворювач надходить діагностичний сигнал, отриманий через електричний перетворювач із зовнішньої поверхні трубопроводу. Дані засоби діагностування входять до системи діагностування рухомого складу та у більшості випадків використовуються як у процесі експлуатації локомотивів, так і безпосередньо для визначення технічного стану тягового рухомого складу.

Варто зазначити, однак, що даний метод діагностики має суттєвий недолік. Він полягає у відсутності очікуваних ударних імпульсів у форсунки з малим відхиленням у роботі, що може призвести до непрацездатності методу. Перешкоди низької частоти швидко поширюються по всіх деталях ДВЗ, а значить, разом з корисним сигналом від форсунки на віброграму будуть накладені сторонні перешкоди від перекладки поршня, ударів газорозподільного механізму та ін. Цей метод вимагає присутності оператора при проведенні випробувань ДВЗ. Однак ці недоліки компенсуються простотою та зручністю у вимірах вихідних параметрів.

						Арк.
						24
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

У вібровимірювальному устаткуванні засобом діагностування є п'єзоелектричний акселерометр і персональна електронно-обчислювальна машина (персональний компютер).



Рисунок 2.1 - П'єзоелектричний акселерометр

П'єзоелектричний акселерометр - це прилад для вимірювання амплітуди та частоти коливань що виникають в результаті вібрацій поверхонь [13]. Конструкція стандартних приладів даного типу включає активні елементи виконані з п'єзоелектричного матеріалу, що виконує роль пружини і забезпечує механічний зв'язок між з'єднаною з основою стійкою має трикутний профіль перерізу і трьома сейсмічними масами. При вплив коливань на основу акселерометра на п'єзоелектричні компоненти діє динамічна сила, що дорівнює добутку прискорення сейсмічної маси на відповідну масу. П'єзоелементи генерують електричний заряд пропорційний динамічній силі, що діє на них. Сейсмічні маси акселерометра не змінюються, отже заряд на електродах п'єзоелементів, пропорційний прискоренню цих мас. Амплітуда і фаза прискорення сейсмічних мас в широкому частотному діапазоні ідентична амплітуді і фазі прискорення основи акселерометра, тому загальний електричний заряд, що віддається останнім, пропорційний прискоренню його основи і, отже прискоренню механічних коливань поверхні об'єкта, на якому акселерометр закріплений.

Експлуатація п'єзоелектричних акселерометрів забезпечує високу точність вимірювання механічних коливань. Обладнання застосовується завдяки наступним перевагам:

						Арк.
						25
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- Широкий частотний діапазон.
- Висока стійкість до факторів впливу довкілля.
- Лінійна характеристика широкому динамічному діапазоні.
- Відсутність рухомих деталей позитивно позначається на довговічності.
- Активний перетворювач не потребує застосування джерела живлення.

Технічні характеристики п'єзоелектричного акселерометра KD-35:

- Коефіцієнт передачі – не більше  $5 \pm 0,1 \text{ мв} / \text{мс}^{-2}$ .
- Ємкість – 1 нФ.
- Резонансна частота – 20 кГц.
- Максимальне вимірювальне прискорення -  $3 \text{ мс}^{-2}$ .
- Максимальний поперечний коефіцієнт направленості – 5.
- Температурний діапазон – від  $-35^\circ \text{ С}$  до  $+150^\circ \text{ С}$ .
- Габаритні розміри: висота - 24 мм, діаметр – 19 мм.
- Маса – не більше 28 г[13].

## **2.2 Метод діагностування за діаграмою тиску в паливній системі високого тиску**

Метод діагностування за діаграмою тиску в паливній системі високого тиску в даний час є найпоширенішим завдяки п'єзоелектричним датчикам тиску накладного типу, їх легко встановлювати на паливну систему високого тиску.

Чутливий елемент даного перетворювача - це плівка, яка має п'єзоелектричний ефект, завдяки якому малі деформації сталеві трубки модифікуються в електричний сигнал. Різниця потенціалів на виході з датчика прямо пропорційна зусилля сприйняття п'єзоелемента та тиску [15].

Можна відзначити, що існують деякі обмеження, що складаються в складності точного визначення величини тиску. Викликане воно тим, що зусилля, створене деформації трубкою на чутливу частину датчика, залежить від багатьох параметрів, таких як тиск, жорсткість стінок трубопроводу, їх товщина, якість поверхні трубопроводу та розташування датчика при встановленні його на трубці.

						Арк.
						26
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Існує певний зв'язок між роботою паливної апаратури ДВЗ та характером зміни тиску у паливній системі високого тиску. Протягом практично всього циклу роботи ДВЗ тиск у паливній системі високого тиску залишається незмінним і дорівнює величині залишкового тиску.

На рисунку 2.2 у точці 1 відображено момент, коли відбувається стрибок (підвищення) тиску, викликаний відкриттям нагнітального клапана та нагнітальним ходом плунжера насоса. У зоні 2 спостерігається відкриття нагнітального клапана на фоні тривалого збільшення тиску, що викликає стрибок тиску. Доти, доки тиск у паливній системі високого тиску не збільшиться до зусилля затягування пружини форсунки, її голка нерухома. Впорскування палива форсункою відбувається в точці 3, це призводить до зменшення тиску в паливній системі високого тиску. У цей же момент нагнітальний хід плунжера викликає стрибок тиску, на який накладаються відбиті та прямі хвилі тиску палива в трубі. Точка 4 відповідає різкому падінню тиску, тобто призводить до закінчення нагнітального ходу плунжера.

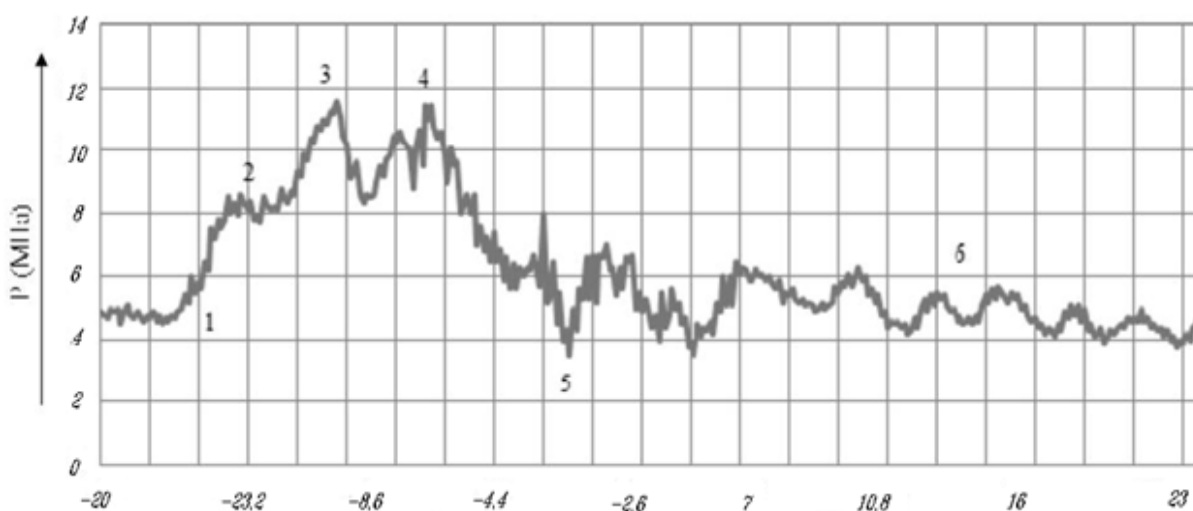


Рисунок 2.2 – Діаграма тиску палива в паливопроводі високого тиску ДВЗ

Точкою 5 на діаграмі показаний момент закінчення посадки голки форсунки при максимальному тиску. Зона 6 є зоною слабких коливань залишкового тиску, які з'явилися завдяки закриттю паливної системи з обох сторін, тобто з боку насоса і з боку форсунки, що привело до відбиття хвилі кінця трубки [14].

					Арк.
					27
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	

Очевидно, що значно більшою достовірністю та діагностичною цінністю, у порівнянні з сигналом вібрації, має діаграма, яка отримана за допомогою датчика переміщення голки форсунки.

Вимірюваними параметрами діагностичних ознак діаграми тиску є такі значення:

- амплітуди коливань тиску на ділянці «стиснення» палива;
- амплітуди коливань залишкового тиску;
- тиску початку подачі палива насосом;
- тиску закінчення подачі палива насосом;
- тиску в момент початку подачі палива;
- фазових характеристик паливоподачі;
- тиску початку упорскування палива форсункою;
- Тиску подачі палива форсункою;

Найпоширенішими відхиленнями в роботі паливної системи, а саме форсунок, є:

- ослаблення затяжки пружин, що призводить до зниження тиску на початку впорскування;
- нещільності в розпилювачах форсунок (причина: використання неякісного палива, неправильне складання форсунки або дефекти виготовлення, що призводять до «підтікання» форсунки);
- нещільності плунжерної пари (причина: знос поверхонь плунжерної пари, що труться). Збільшення радіального зазору між гільзою та плунжером може призвести до підвищення частки палива, що протікає через зазор у порожнині з низьким тиском, що, у свою чергу, спричиняє збільшення витрати палива у дренажній магістралі насоса. При однакових швидкостях плунжера підвищене перетікання палива призводить до «затягування» ділянки стиснення палива та зменшення кута випередження подачі палива форсункою;
- нещільності нагнітального клапана (причиною найчастіше є його знос).

Названі несправності форсунки є показниками погіршення робочого процесу ДВЗ, але загалом паливна система залишається працездатною. За

						Арк.
						28
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

діаграмою тиску палива можна легко визначити несправності іншої групи, які призводять до відмови в роботі форсунки та циліндра ДВЗ.

Засобом методу діагностування за діаграмою тиску в паливній системі високого тиску є п'єзоелектричний датчик тиску накладного типу.



Рисунок 2.3 - П'єзоелектричний датчик тиску накладного типу

П'єзоелектричний датчик тиску – це контрольно-вимірювальний пристрій, що використовується для вимірювання динамічного тиску. Основна перевага технічного застосування цих датчиків у збільшенні швидкості і точності вимірювання пульсуючого тиску. Основні переваги:

- Швидкий час відгуку(мікросекунди).
- Резонуюча частота до  $\geq 500$  кГц.
- Вимірює малі зміни тиску при високому рівні статичного тиску.
- Великий діапазон температур від  $-196^{\circ}$  С  $+399^{\circ}$  С
- Дуже міцний корпус, завдяки цьому датчик стійкий до ударів і вібрацій.
- Технологія ICP вихідного сигналу дозволяє знімати «чисті» дані звичайним коаксіальним кабелем навіть при використанні датчика у складних умовах.

Основні характеристики п'єзоелектричного датчика тиску 106В:

- Динамічний діапазон вимірювання – 52,2 кПа.
- Чутливість – 43,5 мВ/кПа.

						Арк.
						29
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- Максимальний тиск(статичний) – 13790 кПа.
- Розширення – 0,00069 кПа.
- Резонансна частота -  $\geq 60$  кГц.
- Чутливість при низьких частотах (-5%) -  $\leq 9$  мкс.
- Чутливість до вібрацій - 0,0014 кПа/(м/с<sup>2</sup>).
- Температурний діапазон – від  $-54^{\circ}$  С до  $+121^{\circ}$  С [15].

### 2.3 Метод діагностування по ходу голки форсунки

В методі діагностування по ходу голки форсунки головним засобом є індуктивний датчик. Він встановлюється на форсунці так, що рухливий шток (його приймальна частина) рухається разом з голкою форсунки. Типова діаграма ходу голки форсунки наведена на рисунку 2.4.

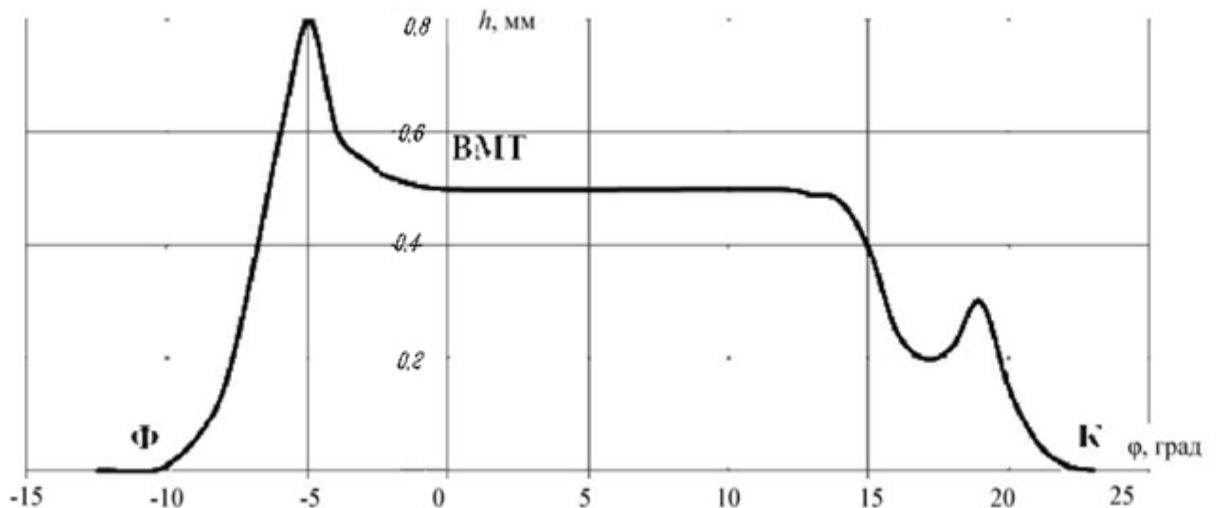


Рисунок 2.4 –Діаграма ходу голки форсунки: Ф- початок подачі палива (початок ходу голки), К – закінчення подачі палива(посадка голки)

Поряд із фазовою характеристикою по діаграмі визначаються висоту підйому голки та наявність коливань голки в процесі «підвприска». Виробляються розрахунки темпу (швидкості) підйому голки, темпу посадки голки та ін. Загалом, всі ці параметри дозволяють визначити практично всі несправності форсунок та паливного насоса високого тиску [16].

Недоліком методу, крім малої універсальності, є невисока надійність індуктивного датчика, так як він має у своїй конструкції зношувальні рухомі механічні елементи.

На основі діагностичних сигналів можна скласти інформаційну модель. Використовуючи теорію інформації, можна в необхідному обсязі описати об'єкт діагностування – як датчик, вимірювальні прилади, так і перетворювачі інформації, засоби відображення інформації, а також і саме діагностування як процес зняття діагностичного сигналу при визначенні працездатного стану об'єкта.

Найголовнішою перевагою даної моделі є єдність математичного апарата, що описує різні об'єкти та процеси, що дозволяє проявити їхню інформаційну сутність. Це дозволяє, використовуючи інформаційну модель, пов'язати в єдине ціле найрізноманітніші параметри системи технічного діагностування та розглядати їх взаємовплив.

З інформаційної точки зору об'єкт діагностування - це датчик діагностичного перетворювача, що має середньоквадратичне значення  $\sigma_x^2$ . Вимірювальний прилад системи технічного діагностування характеризується середньоквадратичною похибкою і смугою пропускання  $W$ . Кількість інформації, отриманої при діагностуванні,

$$I = \frac{2WT \log_2(\sigma_x^2 \sigma_n^2)}{\sigma_n^2} \quad (2,1)$$

Враховуючи нерівність про  $\sigma_x^2 \square \sigma_n^2$ , отримаємо:

$$I = \frac{2WT \log_2 \sigma_x}{\sigma_n} \quad (2,2)$$

Система технічного діагностування обмежена у часі можливістю відмови. Середній час безвідмовної роботи системи протягом періоду  $T$

$$T_1 = T_0(1 - p) \quad (2,3)$$

де  $T_0 = \frac{1}{\lambda}$  - середнє напрацювання на відмову,  $\lambda$  - параметр потоку відмов, а величина  $p = e^{-\lambda}$  імовірність безвідмовної роботи. Таким чином, скорочення часу роботи системи технічного діагностування за рахунок можливої відмови можна розглядати як зменшення інформації про стан. Інформаційні втрати можна визначити за виразом:

						Арк.
						31
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

$$\Delta I = I - I_1 = 2W [T - T_0(1 - p)] \log_2(\sigma_x / \sigma_n) \quad (2,4)$$

Виходячи з положень теорії інформації втрати необхідно розглядати як збільшення середньоквадратичної похибки приладу до величини  $\sigma_x / \sigma_n$  [16]. Важливо відзначити, що кількість інформації  $I$  залежить від точності, безвідмовності, смуги пропускання та являвся комплексним показником якості системи технічного діагностування. У загальному випадку інформаційні моделі об'єкта діагностування можна розглядати як окремі випадки моделей планування експерименту. Головне завдання - зрештою отримувати максимум інформації про стан при найменших витратах часу та ресурсів. Після розгляду перерахованих методів діагностування паливної апаратури можна зробити висновки щодо їх обґрунтованості. Метод віброакустичної діагностики є простим і доступним, але має істотний недолік - неможливість правильно перевіряти виміри на «шумах» низької частоти. Метод діагностування за діаграмою тиску в паливопроводі високого тиску - найпоширеніший метод діагностики паливної апаратури. Після впровадження датчиків вимірювання тиску в паливній апаратурі стало можливим легко виміряти тиск на будь-якій ділянці паливопроводу, також існує і недолік - виміряний тиск має похибку через механічні та геометричні параметри трубопроводу. Метод діагностування по ходу голки форсунки є більш точним, але не має універсальності, так як не підходить для всіх типів ДВЗ. Як впливає зі сказаного, з усіх методів тільки, за допомогою методу діагностування по діаграмі тиску в паливопроводі високого тиску діагностики топ зливної апаратури можна визначити і момент початку робочого ходу плунжера (початок подачі палива насосом), і момент дійсної подачі палива в циліндр (початок подачі палива форсункою). Це значно підвищить ефективність метода стосовно регулювання кута випередження подачі палива.

Основним засобом методу діагностування по ходу голки форсунки є індуктивний датчик. Індуктивний датчик – це безконтактний датчик призначений для контролю положення об'єктів з металу (до інших матеріалів не чутливий [17].

						Арк.
						32
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 – Індуктивний датчик

Основні параметри індуктивного датчика:

- Номінальна відстань спрацювання - відстань де відбувається перемикання сигналу датчика. Номінальна відстань встановлюється з використанням в якості об'єкту сталевієї пластини шириною не менше трьох номінальних відстаней спрацювання і товщиною 1 мм при температурі +20°С і номінальній напрузі живлення.
- Гарантований зазор – відстань у якій гарантовано відбудеться спрацювання датчика не залежно від умов, становить від 0 до 81% від номінального діапазону спрацювання.
- Поправочний коефіцієнт робочого зазору – дозволяє визначити на якій відстані відбудеться спрацювання датчика, залежно від металу, з якого виготовлений об'єкт.
- Частота спрацювання – максимальна величина частоти перемикання вихідного сигналу датчика. Значення варіюється від 15 до 5000 Гц.
- Ступінь захисту – IP67 або IP68 [17].

						Арк.
						33
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФОРСУНОК ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДВЗ**

Технічний стан форсунки – це стан форсунки який характеризується в певний момент часу за певних умов експлуатації значеннями параметрів зазначених в технічній документації [19]. Дослідження і діагностика технічного стану форсунок є дуже важливим в експлуатації тепловоза адже завдяки цьому можна спрогнозувати безвідмовну роботу ДВЗ і дати певні рекомендації для вирішення несправності і ремонту. Дослідження технічного стану форсунок на базі локомотивного депо “Львів-Захід” проводиться двома методами. Перший метод «Візуальний метод роботи паливної системи високого тиску», другий метод «Метод оцінки технічного стану форсунок за допомогою стенду А-106 при технічному обслуговуванні та поточних ремонтах».

### **3.1 Візуальний метод роботи паливної системи високого тиску**

Під час роботи форсунки паливо під дією перепадів тиску перетікає по зазору між голкою та напрямною. При діаметральному зазорі більше 10 мкм виток палива, зменшується подача палива що надходить у камеру згорання. За величиною витоків палива можна визначити зазор у парі «голка – корпус розпилювача». Для цього в лабораторних умовах визначають витік палива для відображення величини зазору. За величиною витоків палива в експлуатації (зворотнім способом) визначають зазор у розпилювачі, знос напрямної та роблять висновки про доцільність подальшої експлуатації форсунки. На малюнку 7 показано зміну витоків палива за год в см<sup>3</sup> через прецизійну пару «голка – корпус розпилювача» залежно від діаметрального зазору на різних швидкісних режимах роботи двигуна.

						Арк.
						34
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

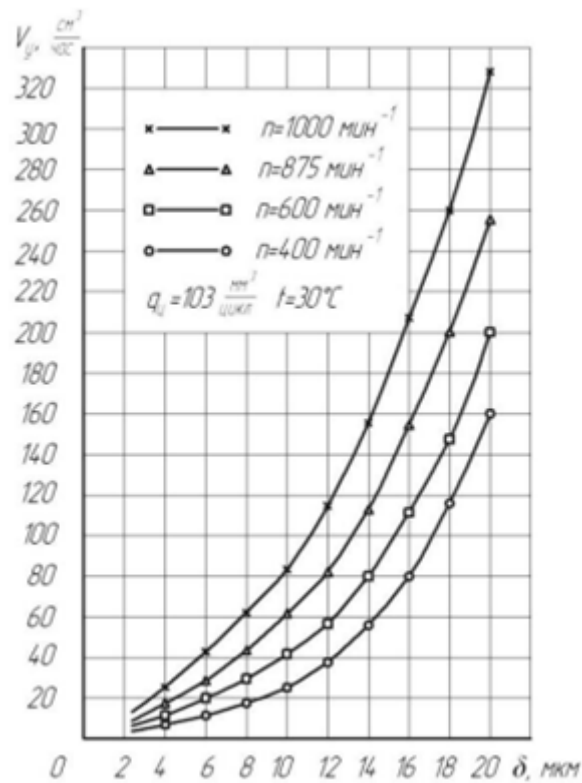


Рисунок 3.1 – Витік палива через зазор в парі «голка – корпус розпилювача» в залежності від діаметрального зазору і частоти обертання.

При частоті обертання  $875 \text{ хв}^{-1}$  витік палива із системи високого тиску за час при температурі  $30^\circ\text{C}$  при діаметральному зазорі в розпилювачі  $12 \text{ мкм}$  зіставили  $80 \text{ см}^3$ . Температура палива в каналах форсунки на працюючому двигуні досягає  $80^\circ\text{C}$ , при цьому в'язкість палива знижується, а витік збільшується приблизно в два рази. Зазор в розпилювачі більше  $12 \text{ мкм}$  вважається граничним. При великих зазорах порушується герметичність посадкового конуса розпилювача і відбувається витік палива через нього. При зношенні обмежуючої поверхні корпусу форсунки и збільшенні ходу голки вона не досягає упору, і витік палива збільшується. При зміні витоку можна визначити збільшення ходу голки и зношення розпилювача.

### 3.2 Метод оцінки технічного стану форсунок за допомогою стенду А-106 при технічному обслуговуванні та поточних ремонтах в локомотивному депо «Львів-Захід»

При технічному обслуговуванні або поточному ремонті форсунки знімаються з ДВЗ і піддаються перевірці на стенді А-106. Методика цього стенду дозволяє шляхом осцилографування визначати стан форсунок в умовах депо.

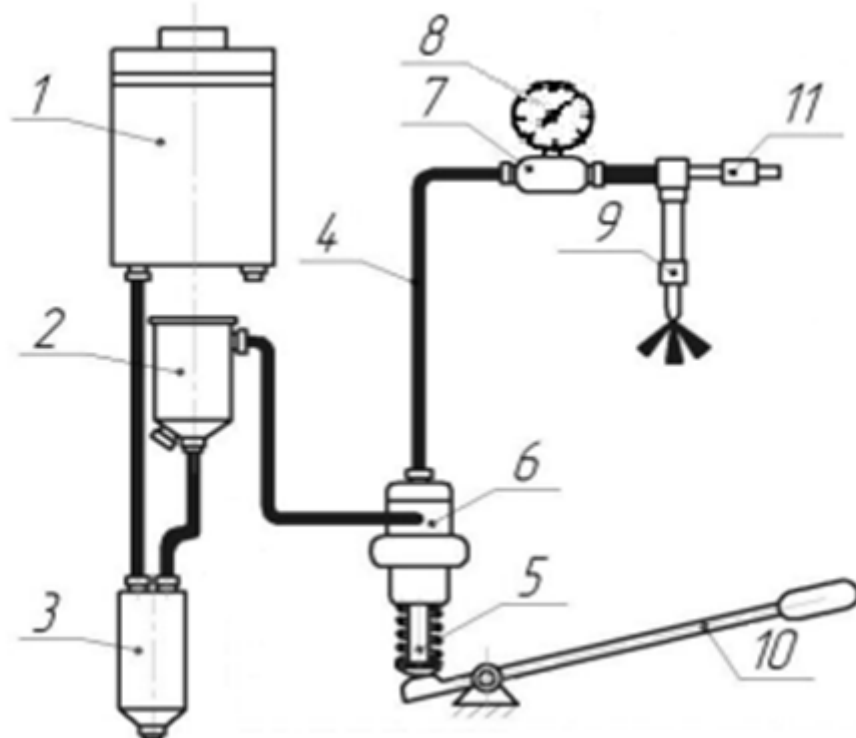


Рисунок 3.2 - Схема стенда А-106 для випробування форсунок. 1-бак з паливом; 2-фільтр тонкого очищення; 3-відстійник; 4-паливопровід; 5-штувхач; 6-паливний насос високого тиску; 7-тройник; 8-манометр; 9-форсунка; 10-важіль; 11-гвинт;

Стенд забезпечує ручну прокачку палива від паливного насоса високого тиску 7 по паливопроводу 5 до форсунки 10. Між штуцером насоса і форсункою поставлений тройник що з'єднує паливопровід високого тиску з атмосферою на корпусі якого змонтований контрольний манометр 9. Паливо до паливного насоса високого тиску потрапляє самопливом з паливного баку 1 через відстійник 3 і фільтр тонкого очищення 2. Форсунка 10 встановлюються на

						Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		36

стенді і затискаються гвинтом 12. Паливо впорскується в збірку з прозорим екраном, який обладнаний гасною сіткою та вентиляційним всмоктувачем. Для визначення справності форсунки процес вприскування має відбуватись при  $320 \text{ кгс/см}^2$ . Перепад тиску за період вприскування  $105 \pm 15 \text{ кгс/см}^2$ . Різниця тисків закриття при 5 послідовних вприскуваннях не більше  $10 \text{ кгс/см}^2$ . Якщо показники не співпадають з допустимими форсунку розбирають і ремонтують

### 3.3 Модернізація і покращення роботи стенду А-106

Під час виконання дипломної роботи я зрозумів що УЗ потребує різних змін. Ми відстаємо від передових європейських країн на десятки років. Розглядаючи тему діагностики паливної апаратури, а саме форсунки я пропоную модернізувати роботу стенду А-106, а саме підключити персональний комп'ютер і за певними алгоритмами отримувати дані про стан форсунки.

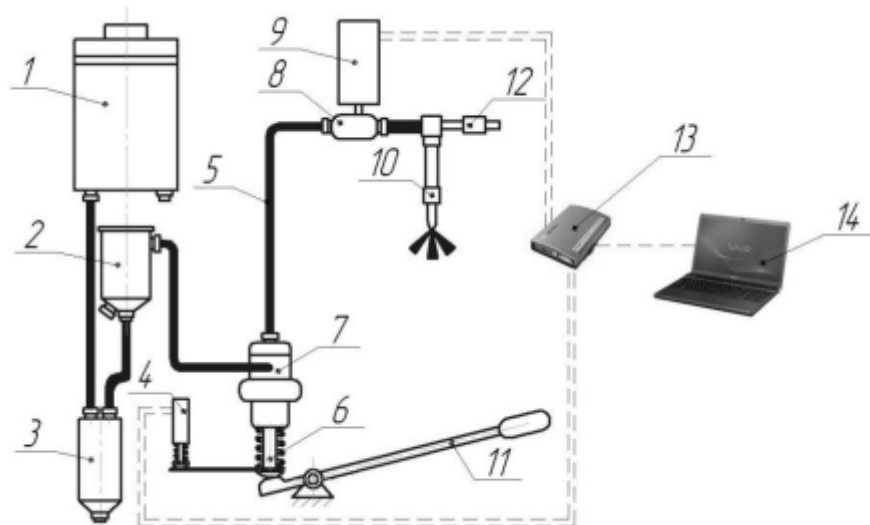


Рисунок 3.3 –Модернізований стенд А-106.

1-бак з паливом; 2-фільтр тонкого очищення; 3-відстійник; 4-датчик ходу плунжера насосу; 5-паливопровід; 6-шовхач; 7-паливний насос високого тиску; 8-тройнік; 9-датчик тиску; 10-форсунка; 11-важіль; 12-гвинт; 13- пристрій ведення USB-9215; 14-персональний комп'ютер;[17]

						Арк.
						37
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Модернізований стенд для випробування і регулювання форсунок буде обладнаний датчиком 4 для запису ходу плунжера і тензометричним датчиком 9 для запису тиску в паливопроводі високого тиску 5. Для перетворення аналогових сигналів датчиків в цифрові використано пристрій введення 13.

За допомогою пристрою ведення USB-9215 буде відбуватись перетворення аналогових сигналів датчика в цифрові. Аналого-цифровий перетворювач забезпечить передання аналогового сигналу еквівалентною сукупністю його дискретних значень та кодування цих значень. Тиск плунжера і зміна тиску будуть записуватись за допомогою персонального комп'ютера. За аналізом характерних точок на імпульсі тиску (по амплітуді і фазі) визначатиметься вплив зносу плунжерної пари, що направляє розпилювача (зазору), жорсткості пружини, ходу голки, діаметра соплових отворів на процес подачі палива

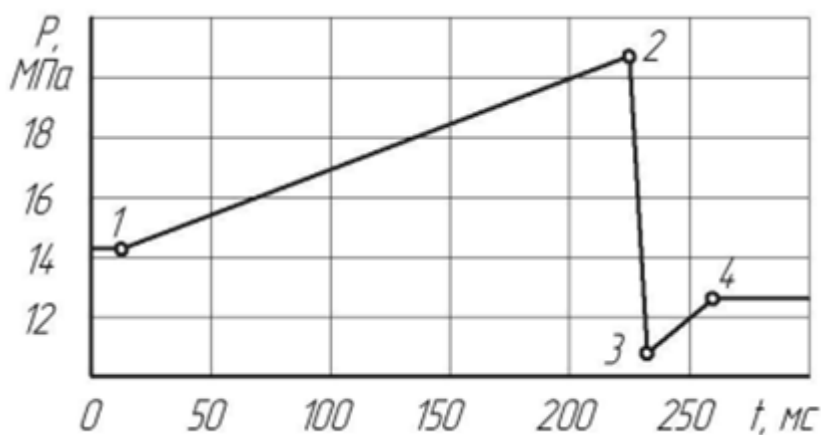


Рисунок 3.4 - Зміна тиску в паливній системі високого тиску під час випробування форсунок на модернізованому стенді А-106

Для визначення впливу зношування плунжерної пари звертається увага на ділянку 1-2. Зміна тиску на ділянці 2-3 залежить від діаметра соплових отворів збільшення ходу голки та зазору в поєднанні «голка-корпус розпилювача». На ділянці 3-4 оцінюється величина подачі палива [18].

За допомогою датчика тиску, пристрою ведення і персонального комп'ютера ми можемо отримати осцилограму зміни тиску і ходу голки форсунки рисунок 3.5.

За наведеними осцилограмами та вказаними характерним точкам можна оцінити налаштування паливної апаратури високого тиску та якість її роботи. По положенню точки (а) визначають залишковий тиск та початок різкого підвищення тиску. По точці (б) оцінюють момент та тиск початку відкриття голки. На осцилограмі ходу голки це точка (д), за нею визначають кут початку вприскування щодо позначки геометричного початку подачі ( $7,5^\circ$ ). Вприскування палива в циліндр двигуна починається за  $8,5^\circ$  до верхньої мертвої точки поршня. Кут нахилу лінії тиску на ділянці (а-б) дозволяє оцінити швидкість наростання тиску, що залежить в основному від зносу плунжерної пари та напрямної розпилювача. У точці (в) з урахуванням масштабу тиску визначають максимальну величину імпульсу. У точці (г) оцінюють величину тиску палива, при якому здійснюється посадка голки на сідло. Момент посадки голки точніше визначається за точкою (з).

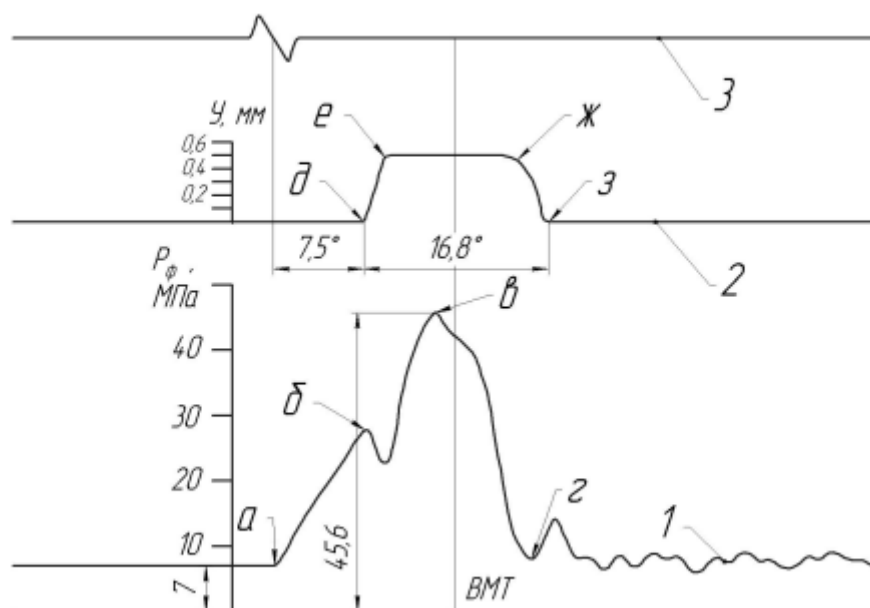


Рисунок 3.5 – Осцилограми зміни тиску у форсунці і ходу голки форсунки. 1 – Тиск на вході у форсунку; 2 – Переміщення голки форсунки; 3 – Відмітка геометричного початку подачі палива.

Тривалість упорскування ( $16,8^\circ$  повороту кулачкового валу) визначається на відстані від точки (д) до точки (з). У точці (е) голка досягає упору, що дозволяє визначити максимальний її перебіг (0,5 мм). На ділянках (д-е) і (ж-з)

						Арк.
						39
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

визначається швидкість підйому та посадки голки. Таким чином, за розташуванням характерних точок на діаграмах тиску палива та руху голки можна визначити стан форсунки та можливі її несправності [20].

Основні несправності форсунки які можна визначити за допомогою аналізу ходу голки форсунки рисунок 3.6.

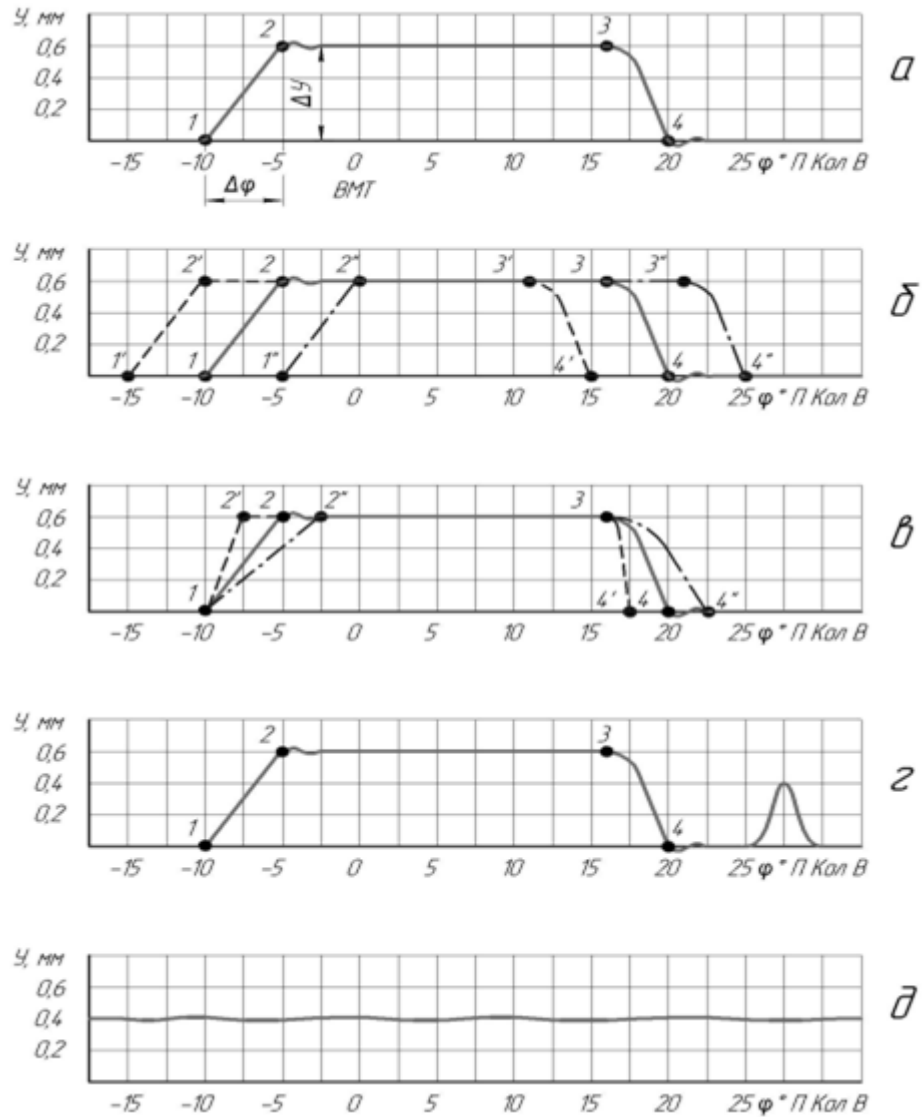


Рисунок 3.6 – Основні несправності форсунки визначаючі по аналізу ходу голки форсунки.

а – осцилограма ходу голки форсунки; точка 1 – початок підйому; 2 – досягання максимального підйому; 3 – початок опускання голки; 4 – посадка голки на сідло; 1-4 тривалість процесу впрыскування; б – ранній ( $-15^\circ$ ) і пізній ( $-5^\circ$ ) процес впрыскування палива, в – активний (1-2') і повільний (1-2'') підйом голки, активна (3-4') і повільна (3-4'') посадка голки

на сідло; г – додаткове вприскування палива; д – зависання голки при ході 0.4 мм;[20]

На мою думку така модернізація стенду дозволить швидше і якісніше проводити діагностику форсунки та її налаштування.

						Арк.
						41
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- проаналізовано основні режими роботи двигунів внутрішнього згорання;
- розглянуто задачі технічного діагностування та основні визначення щодо технічного стану рухомого складу;
- наведено основні методи та засоби технічного діагностування паливної апаратури високого тиску тепловозів в локомотивному депо «Львів-Захід»;
- досліджено зміну тиску в паливній системі високого тиску під час випробування форсунок на стенді А-106;
- проведено визначення основних несправностей форсунки за аналізом ходу її голки;
- вдосконалено технологію діагностування паливної апаратури високого тиску в локомотивному депо «Львів-Захід» шляхом модернізації роботи стенду А-106.

						Арк.
						42
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Володин А.И. Режимы работы ДГУ тепловозов на восточном полигоне железных дорог / А.И. Володин, А.В. Чулков, О.В. Балагин, Рен Ир Хан // Вестник инженеров -электромехаников инженерного транспорта. – Самара : СамГАПС, 2003. – С. 47 – 50.
2. Интернет джерело <https://studopedia.org/8-17563.html> «Режими роботи тепловозних дизелів».
3. Интернет джерело <http://um.co.ua/8/8-17/8-17563.html> «Розділ 6. Експлуатація локомотивних енергетичних установок.»
4. Сдобник Е.Ф. Тепловозы ТЭМ1 и ТЭМ2 / Е.Ф. Сдобник. –2-е изд., – М. : Транспорт, 1978. – 184 с.
5. Симсон А.Э. Двигатели внутреннего сгорания (тепловозные двигатели и газотурбинные установки) : учебник / А.Э. Симсон, А.З. Хомич, А.А. Куриц. – М. : Транспорт, 1980. – 384 с.
6. Костин А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации. / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев. – Л. : Машиностроение, 1989.
7. Технические средства диагностирования : справочник / ред. В.В. Клюев. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
8. Хомич А.З. Диагностика и регулировка тепловозов: производственно-практическое издание / А.З. Хомич. – М. : Транспорт, 1977. – 222 с.
9. Подшивалов А.Б. Диагностирование локомотивов / А. Б. Подшивалов // Локомотив. –1977. – № 6. – С. 27–29.
10. ГОСТ 27002 – 89. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. – М., 1989.
11. Коньков А.Ю. Основы технической диагностики локомотивов : учеб. пособие /А.Ю. Коньков. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2007. – 98 с.
12. Криворудченко В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта : учебное пособие для вузов ж-д.

						Арк.
						43
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

транспорта / В.Ф. Криворудченко, Р.А. Ахмеджанов // – М. : Маршрут, 2005. – 436 с.

13. Интернет джерело <https://uapatents.com/2-45702-pehzoelektrichnijj-akselerometr.html> «П'єзоелектричний акселерометр».
14. Балагин Д.В. Экспериментальные исследования тепловых процессов в трубопроводах высокого давления топливной аппаратуры дизелей / Д.В. Балагин // Омский научный вестник. – 2012. – № 3 (113). – С. 142 – 145.
15. Интернет ресурс <https://uapatents.com/4-35762-pehzoelektrichnijj-datchik-tisku.html> «П'єзоелектричний датчик тиску накладного типу».
16. Макушев Ю.П. Методика диагностики топливной аппаратуры ДВЗ по изменению давления на входе в форсунку и движения иглы / Ю.П. Макушев, Л.Ю. Михайлова, А.В. Филатов // Материалы Международной научнопрактической конференции. – Пермь, 2012. – Т. 1. – С. 347 – 354.
17. Интернет ресурс <https://studfile.net/preview/5196501/page:2/> «Индуктивный датчик».
18. Коньков А.Ю. Средства и метод диагностирования дизелей по индикаторной диаграмме рабочего процесса : моногр./А.Ю. Коньков, В.А. Лашко.– Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2007. – 147 с.
19. Кочерга, В. Г. Технология оценивания технического состояния форсунок дизелей / В.Г. Кочерга // Наука –Хабаровскому краю: материалы XI краевого конкурса молодых ученых. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. унта, 2009. – С. 43–55.
20. Лашко В.А. Диагностика угла опережения впрыска топлива и его влияние на протекание рабочего процесса дизеля / В.А. Лашко, Ю.П. Макушев Л.Ю. Михайлова // Материалы Межд. науч.-техн. конф. «Двигатели 2013». –Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 201 – 213.

						Арк.
						44
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		