

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 463 “С” 2023.03.28. 014 ПЗ

ОСКОЛОК КОСТЯНТИН ВІКТОРОВИЧ

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факкультет (ННІ) _____ конструювання та дизайну

УДК 621.793.09

ПОГОДЖЕНО _____ ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Дека́н факультету _____ Завідувач кафедри
конструювання та дизайну _____ надійності техніки
(назва факультету (ННІ)) _____ (назва кафедри)

_____ Ружи́ло З.В. _____
(підпис) _____ (ПІБ)

_____ Нови́цький А.В. _____
(підпис) _____ (ПІБ)

“ ” _____ 2023 р. “ ” _____ 2023 р.
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему „Удосконалення технологічних прийомів ремонту форсунок паливної системи автотракторних двигунів”

Спеціальність _____ 133 – Галузеве _____
машинобудування _____ (код і назва)
Освітня програма _____ Технічний сервіс машини та обладнання сільськогосподарського виробництва _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми
_____ К.Т.Н., доц. _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ Нови́цький А.В. _____
(підпис) _____ (ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи
_____ К.Т.Н., доц. _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ Попик П.С. _____
(підпис) _____ (ПІБ)

Виконав _____
(підпис)

_____ Осколок К.В. _____
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
надійності техніки

К.Т.Н., доц.

Новицький А.В.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПШ)

20 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Осколок Костянтин Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Освітня програма

Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського

виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Удосконалення технологічних прийомів ремонту форсунок паливної системи автотракторних двигунів

затверджена наказом ректора НУБіП України від “28” березня 2023 р. № 463 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2023.11.07.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи 1. Сучасні прийоми відновлення роботоздатності форсунок автотракторних двигунів. 2. Нормативи витрат матеріалів для ремонту форсунок. 3. Типові норми часу на ремонт форсунок. 4. Нормативні документи з охорони праці та техніки безпеки, які регламентують процеси обробки поверхонь деталей сільськогосподарських машин.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Проаналізувати основні тенденції вдосконалення конструкцій форсунок автотракторних дизелів та особливості їх експлуатації. Обґрунтувати фактори, що впливають на якість і надійність роботи.

2. Розробити методику дослідження робочого процесу форсунки при зміні моменту затягування стяжної гайки.

3. Дослідити вплив параметрів складання форсунки на якість розпилювання палива.

4. Науково обґрунтувати параметри технологічного процесу ремонту малогабаритних форсунок.

Дата видачі завдання “08” вересня 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Попик П.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Осколок К.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОСОБІВ РЕМОНТУ МАЛОГАБАРИТНИХ ФОРСУНОК.....	8
1.1. Особливості організації роботи інженерної служби агропромислового комплексу на сучасному етапі.....	8
1.2. Тенденції вдосконалення конструкції форсунок автотракторних дизелів та особливості їх експлуатації.....	1
1.3. Аналіз факторів, що впливають на якість і надійність роботи форсунок автотракторних дизелів і способи оцінки показників якості їхньої роботи....	2
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЮВАЧА.....	8
.....	4
2.1. Інформаційна модель функціонування форсунки.....	1
2.2. Математичний опис руху голки розпилювача з урахуванням його деформації.....	4
.....	3
2.3. Висновки по розділу.....	4
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	8
.....	5
3.1. Розробка експериментального пристрою та методики проведення експериментів.....	0
.....	5
.....	0

3.2. Обробка даних і оцінка похибок
вимірювань.....

5

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ.....

4.1. Експериментальне дослідження робочого процесу форсунки при зміні
моменту затягування стяжної
гайки.....

5

4.2. Вплив параметрів складання форсунки на якість розпилювання
палива.....

6

4.3. Висновки по
розділу.....

6

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА
ПРАЦІ.....

8

5.1. Аналіз умов праці і виробнича
санітарія.....

6

5.2. Освітлення, вібрації та
шум.....

9

5.3. Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної
роботи.....

7

5.4. Електро- та пожежна
безпека.....

4

5.5. Вимоги техніки безпеки при експлуатації
стенду.....

7

5.6. Вимоги до
інструменту.....

6

5.7. Висновки і
пропозиції.....

7

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ.....

7

.....

9

6.1. Обґрунтування методики ремонту малогабаритних форсунок.....

7
9

6.2. Оцінка економічного ефекту при впровадженні запропонованої методики.....

8
1

....

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....
СПИСОК

8
4
8

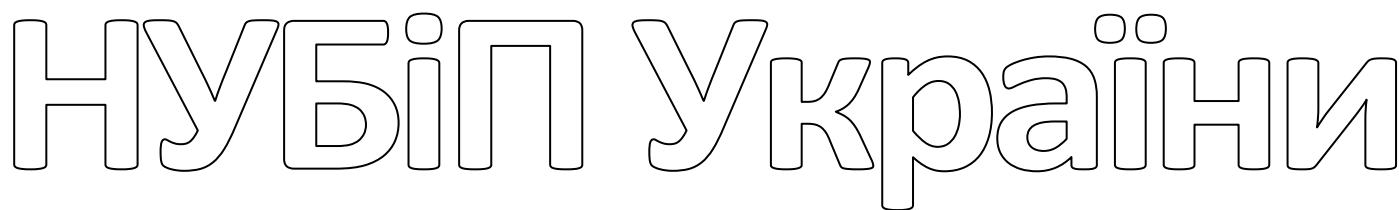
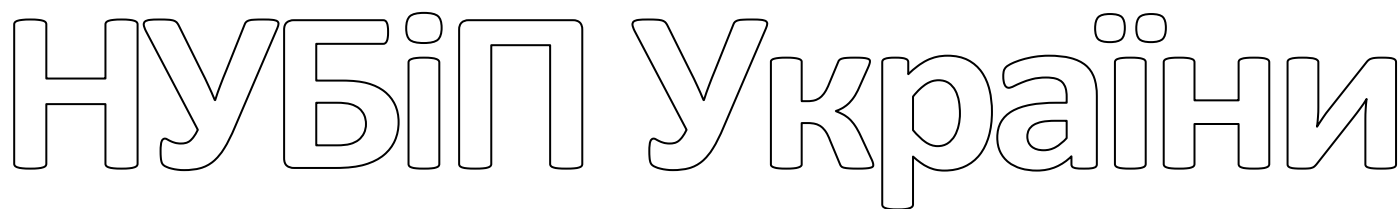
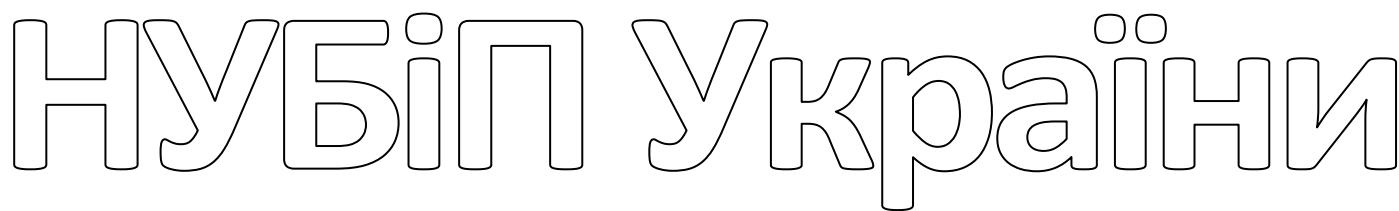
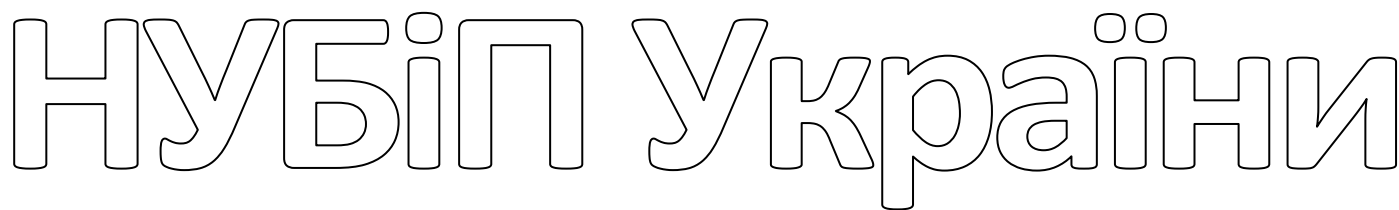
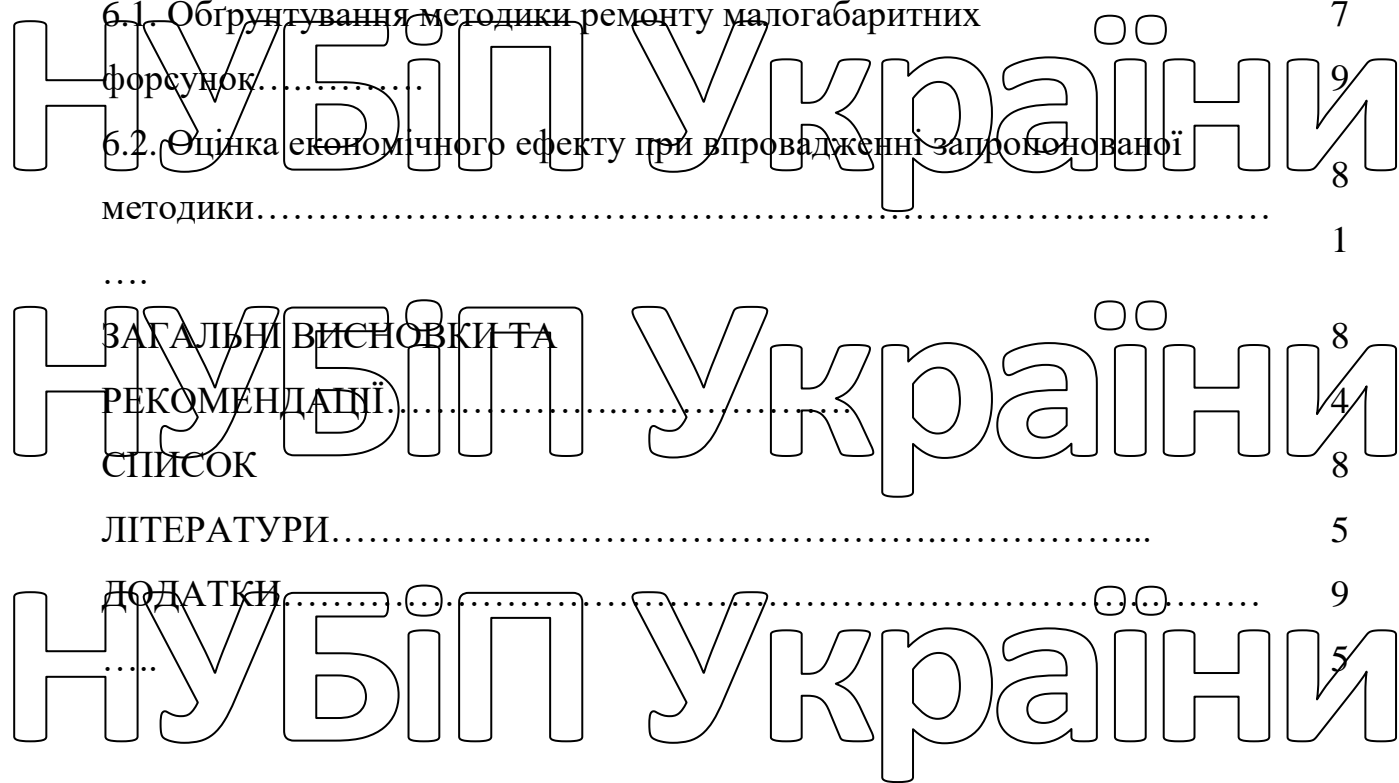
ЛІТЕРАТУРИ.....

5

ДОДАТКИ.....

9

....



ВСТУП

Ефективність роботи машино-тракторного парку в АПК багато в чому визначається коефіцієнтом готовності техніки до виконання агротехнічних і транспортних робіт. Створення спеціалізованих дільниць з ремонту конкретних систем і агрегатів автотракторної техніки безпосередньо в господарствах або максимально наближено до місця експлуатації дає змогу оперативно усувати відмови техніки та суттєво підвищувати коефіцієнт готовності техніки. Цим пояснюється наявність широко поширеної мережі, наприклад, дільниць з ремонту паливної апаратури дизелів. Водночас доведено, що ефективність цієї схеми організації ремонту техніки безпосередньо залежить від кваліфікації персоналу, володіння технологіями ремонту та наявності спеціального обладнання.

В останні роки конструкція агрегатів системи живлення дизелів істотно змінилася. Для підвищення швидкодії роботи стали застосовувати малогабаритні або електрогідрокеровані форсунки з розпилювачами, що мають зменшений діаметр голки. При цьому істотно змінилася технологія їхнього ремонту, стали застосовуватися нові пристосування, а також методи оцінки показників їхньої роботи. Однак через малий термін виробництва малогабаритних форсунок (масове застосування почалося в 90-х роках) більшість спеціалізованих дільниць продовжують використовувати загальноприйняті технологічні прийоми ремонту, діагностування та контролю якості роботи форсунок, які не враховують достатньою мірою конструктивних особливостей сучасних малогабаритних форсунок. Заводські технології ремонту доводяться тільки прямим дилерам, які обслуговують переважно гарантійну техніку, і не розраховані на глибоке поелементне дослідження процесу їхньої роботи. Для проведення якісного ремонту сучасних малогабаритних форсунок не вистачає широко доступних і зрозумілих технологій ремонту, а також недорогого спеціального інструменту.

У зв'язку з цим наукові дослідження, спрямовані на вдосконалення технологічних прийомів ремонту малогабаритних форсунок дизельних двигунів, є актуальними і практично значущими.

Мета та завдання дослідження. Мета дослідження – удосконалення технологічних прийомів ремонту малогабаритних форсунок автотракторних дизелів шляхом обґрунтування нових критеріїв оцінювання параметрів їхньої роботи та розроблення адаптивних засобів їхнього технічного обслуговування.

Відповідно до мети дослідження та аналізу літературних джерел були поставлені наступні завдання дослідження:

1. Провести комплексний аналіз показників якості роботи сучасних малогабаритних форсунок та існуючих методів і засобів їх ремонту;
2. Встановити вплив експлуатаційних факторів на робочий процес форсунок;
3. Розробити об'єктивну методику оцінки якості роботи форсунок;
4. Розробити новий пристрій для ремонту сучасних малогабаритних форсунок автотракторних дизелів;
5. Здійснити впровадження і дати економічну оцінку виконаних розробок.

Об'єкт досліджень. Діагностичні показники роботи сучасних малогабаритних форсунок автотракторних дизелів.

Предмет дослідження. Залежності впливу технологічних впливів під час ремонту форсунок на її робочі характеристики.

Основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи доповідався та обговорювався на науково-практичних конференціях та семінарах кафедри.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОСОБІВ РЕМОНТУ МАЛОГАБАРИТНИХ ФОРСУНОК

1.1. Особливості організації роботи інженерної служби

агропромислового комплексу на сучасному етапі

В агропромисловому комплексі України використовується велика кількість зарубіжної сільськогосподарської техніки, що зумовлено, насамперед, необхідністю впровадження прогресивних технологій з метою інтенсифікації сільськогосподарського виробництва. Техніка, в основному, сконцентрована в машинно-технологічних станціях (МТС) і великих сільськогосподарських підприємствах. Частка зарубіжної техніки в аграрному секторі неухильно зростає і до 2023 року досягла значних величин. У таблиці 1.1 наведено дані щодо наявності самохідних машин у Фастівському районі Київської області на 01.01.2023 р.

Як зарубіжну, так і вітчизняну автотракторну техніку оснащено двигунами зі складним електронним управлінням вузлами та агрегатами. При цьому спостерігається широка різномарочність агрегатів, навіть встановлених на техніку одного виробника. Останніми роками вітчизняні виробники сільськогосподарської техніки так само комплектують машини імпортними частинами, заміна яких, у разі виходу з ладу, є вартісною. Тому, продовження терміну служби вузлів і агрегатів нині є актуальним завданням. Сучасні методи діагностування та ремонту покликані досягти якнайповнішого використання ресурсу техніки, спрямовані на підвищення терміну її служби.

З метою найефективнішого використання сільськогосподарської техніки, організації її технічного обслуговування та ремонту у Фастівському районі три найбільш великих підприємства агропромислового комплексу почали організовувати МТС, зокрема шляхом придбання зарубіжної техніки. Це Фермерське господарство «ПОЛІССЯ», ТОВ «СВИТАНОК» і ТОВ «ДИ МАЛОПОЛОВЕЦЬКЕ».

Таблиця 1.1.

Технічна оснащеність самохідними машинами Фастівського району

	Всього	ТОВ «СВИТАНОК»	ФГ «ПОЛІССЯ»	ТОВ «ДП МАЛОПОЛОВЕЦЬКЕ»
Тракторів, всього	408	216	118	74
в т.ч. по маркам:				
MTЗ 1221	22	14	8	
DD 8430	147	77	42	28
НХ Т 8040	31	31	7	1
ЛТЗ-60	19	17		2
MTЗ-80/82	152	76	43	33
ХТЗ 150К-09	37	12	12	7
Зернозбиральні комбайни, всього	981	599	204	178
в т.ч. по маркам:				
ДОН 1500Б	151	78	34	39
CASE 2366	76		37	39
CASE 525	28	28	4	4
NEW HOLLAND TX 65	379	314	15	50
NEW HOLLAND CS 660	72	52		20
NEW HOLLAND CS 6090	57	37		20
NEW HOLLAND CSX 7080	70	52	18	
John Deere 9560	55	20	35	
Claas 370	40		40	
Challenger 647C	45			45
Бурякозбиральні комбайни, всього	27	19	8	
в т.ч. по маркам:				
Бариджелли В-6	13	11	2	
HOLMER	14	8	6	
Самохідні косарки, всього	245	152	73	20
в т.ч. по маркам:				
CASE 304	8	8		
MacDon 9352i	145	94	45	6
MacDon M 150	92	50	28	14

Проблемам організації та функціонування МТС, машинно-тракторного парку (МТП), розробленню нормативів і підвищенню техніко-економічних

показників МТС, питанням технічної експлуатації МТП МТС присвячено роботи багатьох дослідників [25, 45, 47, 55, 56, 69, 70, 72, 79, 80]. В роботах [15, 16, 55, 62] розкрито особливості технічного обслуговування (ТО) і ремонту сільгосптехніки.

Загалом, експлуатація зарубіжної мобільної техніки в Україні має низку особливостей. По-перше, високе напруження машин за сезон зумовлене більшою технологічною і технічною надійністю, інтенсивним їхнім використанням, великим набором збиральних культур, переміщенням регіонами і нестачею техніки в господарствах, тривалим терміном проведення збиральних робіт.

По-друге, багатомарочність зарубіжної техніки одного виду перешкоджає організації та проведенню технічного обслуговування і ремонту. При цьому, слід зазначити, що навіть у машинах однієї моделі встановлюють різні силові агрегати, і, як наслідок, спостерігається різноманіття систем подачі палива. Застосовувана в цих дизелях паливна апаратура фірм Delphi, Bosch, Denso істотно відрізняється як конструктивно, так і технологією регулювання і використовуваним при цьому оснащенням.

По-третє, технічно-економічний аналіз стану ремонтно-обслуговувальної бази, досвід експлуатації паливоподавальних систем і гідрообладнання показує, що найякісніший ремонт і ТО складних вузлів вітчизняної та зарубіжної техніки з наданням гарантії забезпечується лише на спеціалізованих підприємствах з технічного сервісу.

По-четверте, якісний технічний сервіс техніки, зосередженої в МТС, здебільшого має здійснюватися тільки висококваліфікованими сервісними інженерами з використанням відповідного обладнання та інформаційної підтримки.

По-п'яте, в нашій країні формування системи технічного сервісу зарубіжних тракторів і мобільних сільськогосподарських машин перебуває на початковому етапі. Недостатньо розвинена мережа дилерських підприємств і невисока їхня ефективність з погляду споживача.

Аналіз системи інженерної служби агропромислового комплексу Фастівського району засвідчив, що обслуговування техніки, яку купують, а також ремонт і заміна вузлів та агрегатів, що вийшли з ладу, забезпечується за такими схемами:

- завод виробник є дилером своєї техніки;
- фірмова система дилерського обслуговування;
- фірмова система спеціалізованого обслуговування;
- самообслуговування на місцях.

Вищевказані системи дилерського обслуговування широко поширені в Західних країнах, де висока концентрація техніки та малі відстані дають змогу успішно розвиватися заводам як дилеру, або фірмовій системі дилерського обслуговування як вузькоспеціалізованому представнику заводу-виробника техніки. В умовах нашого регіону такі схеми організації інженерної служби менш прийнятні через дорожнечу робіт внаслідок великої різноманітності техніки, малої концентрації техніки однієї марки в певній місцевості, а також відстані до заводів-виробників. У разі несправності техніка прямує до прибуття фахівців сервісної служби або повернення відремонтованого дилером вузла. Частина, які можуть бути відремонтовані на місцях, так само відвозять до дилерського центру і фірми-виробника, що, своєю чергою, так само збільшує вартість техобслуговування і ремонту.

В наших умовах найвигідніше розвивати фірмову систему спеціалізованого обслуговування і самообслуговування на місцях.

Фірмова система спеціалізованого обслуговування відрізняється від фірмової системи дилерського обслуговування фінансовою незалежністю від заводу-виробника. Обслуговування техніки кількох виробників, які атестували центр фірмової системи спеціалізованого обслуговування, а також ремонт вузлів і агрегатів, що вийшли з ладу, на місці роблять систему універсальною.

Самообслуговування на місцях передбачає проведення техобслуговування техніки та агрегатну заміну вузла на підприємстві або в централізованій майстерні, призначеній для кількох господарств. Особливістю нинішньої

системи самообслуговування порівняно з ремонтними майстернями, які існували раніше і в яких здійснювався поштучний розподіл техніки, що ремонтується, є спеціалізований ремонт паливної апаратури, гідравліки, електроніки, двигуна, трансмісії тощо.

Водночас проведений аналіз діяльності дилерських центрів за 2020...2022 рр. виявив, що технологічний процес техобслуговування і ремонту вузлів і деталей не розкривається і не доступний споживачам і місцевим ремонтним майстерням. Для проведення робіт потрібна наявність кваліфікованих кадрів, спеціалізованого інструменту та обладнання, які здебільшого випускаються за кордоном. Істотною проблемою є придбання технічної документації, технологічних карт ремонту і ТО, всього конструктивного різноманіття застосовуваних систем, особливо паливної апаратури дизелів. У МТС, де експлуатується більша частина машин, відсутня належна виробнича база ремонту і технічного обслуговування, недостатня укомплектованість кваліфікованими сервісними інженерами. Також спостерігається тенденція наростання як простих, так і складних відмов машин після третього року їхньої служби, у зв'язку з чим очікується збільшення обсягів ремонтних робіт.

1.2. Тенденції вдосконалення конструкції форсунок автотракторних дизелів та особливості їх експлуатації

Паливна апаратура (ПА) тракторного дизеля має забезпечити подачу палива за короткий проміжок часу (0,001...0,01 с) точно дозованих відносно малих порцій палива ($10...200 \text{ см}^3$), у заданий період робочого циклу в циліндри дизеля згідно з порядком їхньої роботи під високим (100 МПа і більше) тиском, що змінюється за певним законом.

Одним з основних елементів паливної системи високого тиску дизелів від яких залежить її працездатність, є прецизійні деталі: плунжерні пари, розпилювачі форсунок і нагнітальні клапани. Рівень їх надійності визначається

конструктивними, технологічними, експлуатаційними та ремонтними факторами.

Прецизійні деталі працюють у важких умовах: нагріваються при роботі до 523°C, (корпус розпилювача), остигають взимку до 227°C. Тиск в насосі в момент впорскування досягає 50-80 МПа, фіксуються періодичні ударні навантаження, крім того, відбувається абразивне зношування, і вплив агресивного середовища. В результаті відбувається зміна зазорів, порушення регульовальних параметрів, що призводить до відмови паливної апаратури [4, 14, 60, 75, 94].

Найменшим ресурсом з усіх прецизійних деталей має розпилювач форсунки, у якого він не перевищує 800-1200 мотородин, що становить близько 50% моторесурсу, встановленого ГОСТом [29, 33, 34, 35].

Впливу технічного стану форсунок на працездатність ПА в цілому присвячені роботи широко відомих вчених: Астахова І.В., Антипова В.В., Бахтіарова Н.І., Голубкова Л.Н., Ждановського Н.С., Загородських Б.П., Ніколаєнко А.В., Мічкіна М.А., Свиридова Ю.Б., Русінова Р.Р., Файнлебба Б.Н., Федосєєва І.М., Фоміна Ю.М. та інших.

Аналіз літературних даних і проведені дослідження у пропонованій роботі показав, що головною причиною відмов форсунок є несправність розпилювача [8, 10, 48, 94].

До основних відмов розпилювачів відносяться:

- втрата герметичності;
- погіршення якості розпилювання палива;
- закоксування;
- порушення рухливості голки;
- втрата гідрощільності;
- відколи, задири, зриви поверхні, тріщини в корпусах, змінання і забоїни носика.

Різноманітність паливних форсунок зумовлена сферою використання дизелів і відмінністю процесів сумішоутворення в них. Класифікацію форсунок

наведено на рис. 1.1., схеми конструкцій форсунок різних типів і виробників наведено на рис. 1.2.



Рис. 1.1. Класифікація форсунок.

Диференціальна характеристика впорскування (рис. 1.3, а), тобто залежність кількості палива, що надходить у циліндр дизеля за одиницю часу або за кутом повороту колінчастого вала двигуна, визначає швидкість надходження палива в циліндр. За нею можна судити про момент початку і тривалості впорскування, швидкості надходження палива.

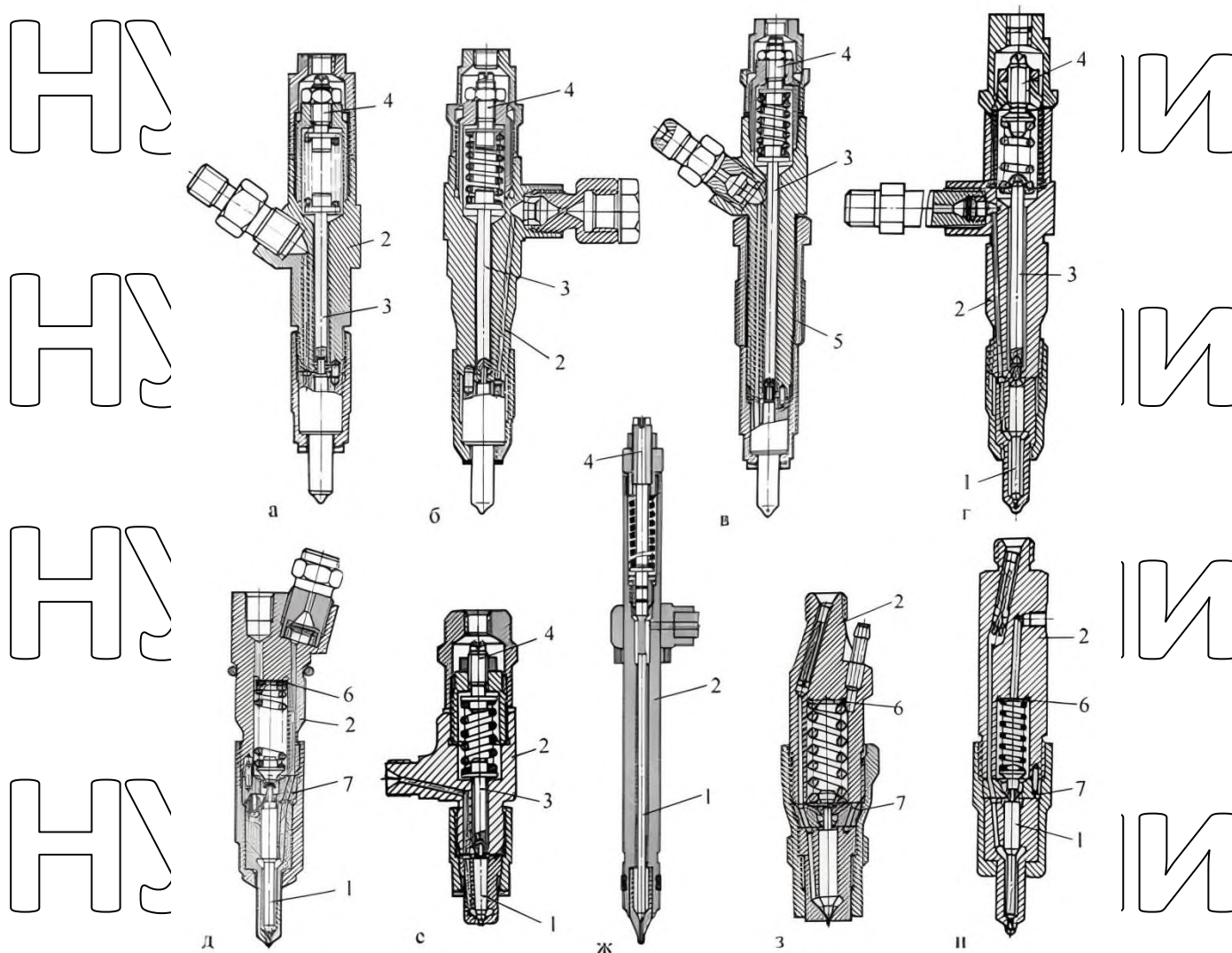


Рис. 1.2. Конструкції форсунок різних типів і виробників.

а – ФД-22; б – 6Т2; в – 6А1; г – ЯМЗ; д – КамАЗ; е – ФП-6-2005; ж – Stanadyne; з, и – Bosch. 1 – голка розпилювача; 2 – корпус; 3 – штанга; 4 – регулювальний гвинт; 5 – гайка кріплення; 6 – регулювальні прокладки; 7 – проставка.

Для оцінки сумарної кількості палива, що надійшло до циліндра дизеля з моменту початку впорскування до поточного кутового положення вала двигуна, використовується інтегральна характеристика впорскування палива (рис. 1.3, б), що отримується інтегруванням диференціальної характеристики. Ці характеристики не дають уявлення про далекобійність струменів і ступінь розпилювання палива, тому поряд із ними для оцінки процесу подачі палива використовують характеристику тисків упорскування (рис. 1.3, в).

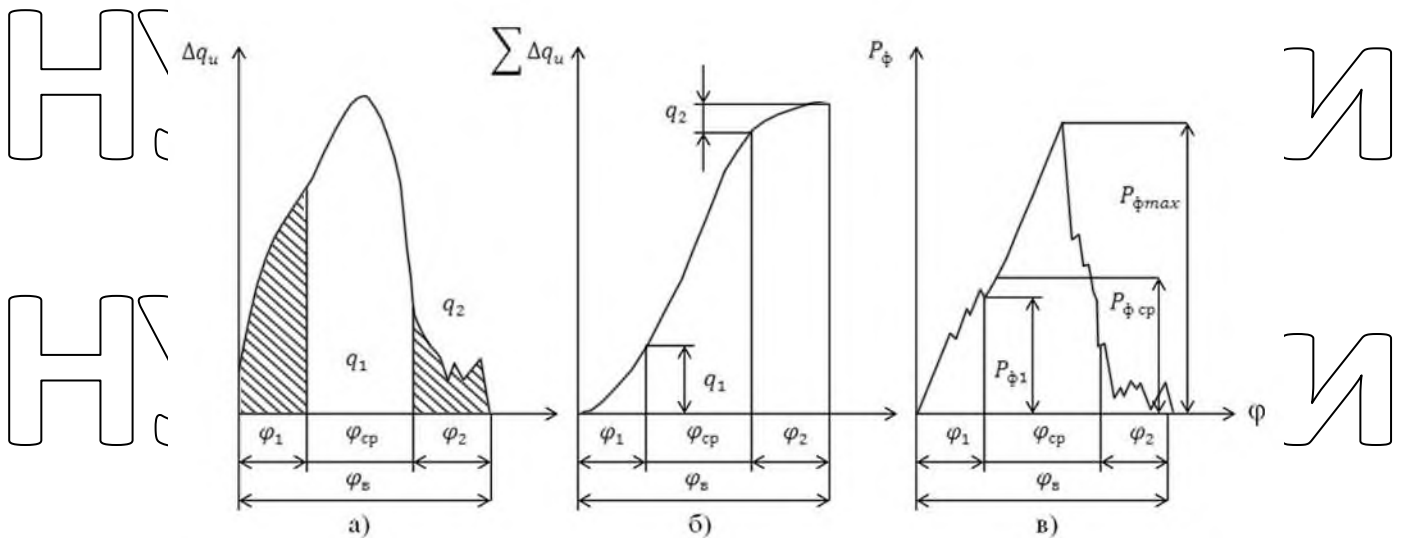


Рис. 1.3. Характеристики впорскування паливноподавальної системи розділеного типу з кулачковим приводом: диференціальна (а), інтегральна (б) за тиском палива перед

розпилювальними розпилювачами (а), інтегральна (б), за тиском палива перед розпилювальними отворами форсунки (в).

Тривалість впорскування палива має становити в сучасних системах $8...16^\circ$ повороту вала двигуна [87]. Невелике відхилення тривалості впорскування від оптимальної може бути компенсовано відповідною зміною кута випередження подачі палива. Однак істотне збільшення кута випередження є неприпустимим, оскільки при цьому збільшується жорсткість процесу згоряння (без поліпшення економічності дизеля). Максимальна об'ємна швидкість впорскування палива у автотракторних дизелів коливається в межах $15...22 \text{ мм}^3$ на 1° у вихрокамерних дизелів і $7...30 \text{ мм}^3$ на 1° у дизелів із безпосереднім упорскуванням палива. Відповідні значення, що припадають на 1 л робочого об'єму, становлять близько $12,5...13,8$ і $5,3...8,1 \text{ мм}^3$ на 1° [87, 92].

Закон розподілу і надходження палива в камеру згоряння багато в чому визначаються формою факела і графіком розподілу палив (рис. 1.4). Довжина факела l_ϕ залежить від тиску впорскування і маси крапель палива. Збільшення

тиску впорскування збільшує проникаючу здатність палива і сприяє зменшенню розмірів крапель палива, прискорюючи їхнє нагрівання і самозаймання.

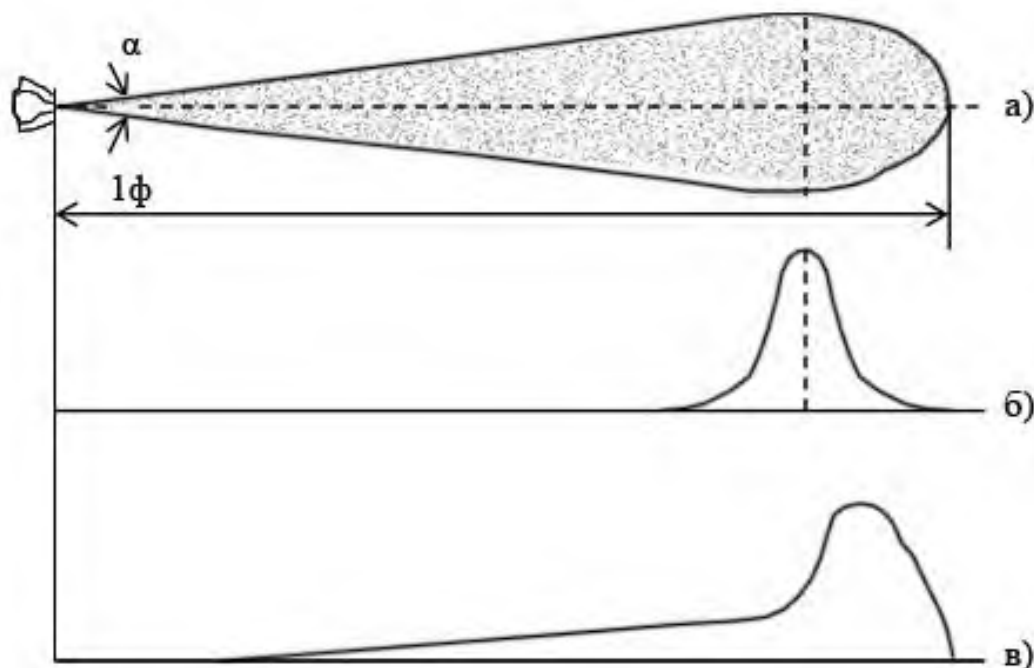


Рис. 1.4. Схема факела (а), і графіки розподілу палива за перерізом (б) і

довжиною (в) факела.

Від далекобійності струменя залежить також вплив пристінкових процесів у сумішоутворенні. Для кожних конкретних камер згоряння існують певні рівні тисків упорскування і заданий сопловий апарат розпилювача, що забезпечують оптимальне сумішоутворення і згоряння.

Безпідфтові розпилювачі для легкових автомобілів мають до шести, а для вантажних – до десяти соплових отворів. Метою вдосконалення конструкції розпилювачів є збільшення числа отворів з одночасним зменшенням їхнього діаметра ($<0,12$ мм), щоб забезпечити якомога тонше розпилювання палива.

Розпилювач впорскує паливо в камеру згоряння, істотно впливаючи як на утворення паливоповітряної суміші та на процес її згоряння, так і на потужність

двигуна і рівень шуму. Щоб розпилювачі оптимально виконували свої завдання, їхня конструкція має бути адаптована до конкретної моделі дизеля.

Розпилювач відіграє важливу роль:

- у формуванні процесу впорскування, тобто точному протіканні тиску і розподілі подачі за кутом повороту колінчастого вала (закон подачі);

- в оптимальному розпилюванні та розподілі палива в камері згоряння;

- у герметичному роз'єднанні системи живлення і камери згоряння в разі припинення подачі.

Через своє положення в камері згоряння розпилювач постійно піддається пульсуючим механічним і тепловим навантаженням з боку двигуна і системи впорскування. Паливо, що проходить через розпилювач, одночасно охолоджує його, проте в режимі провертання, коли впорскування не відбувається, температура розпилювача сильно підвищується, тому його термостійкість повинна відповідати і цьому робочому режиму.

Під час використання систем впорскування з рядними, розподільними та індивідуальними ПНВТ розпилювачі з корлусами насос-форсунок встановлюються на двигуні. У системах насос-форсунок, а також в акумуляторній системі Common Rail розпилювач інтегрований у насос-форсунку. Окремий корпус форсунки в цьому випадку не потрібен.

Момент відкриття розпилювача під дією тиску палива, тривалість і характер процесу впорскування визначають, по суті, величину подачі палива.

Якщо тиск знижується, розпилювач повинен швидко і надійно закритися. Тиск закриття має перевищувати максимальний тиск згоряння суміші в камері згоряння щонайменше на 40 бар, щоб запобігти небажанам підвприскам пального або проникненню газоподібних продуктів згоряння в магістраль високого тиску.

Розпилювач має бути узгоджений з різними параметрами двигуна:

- процес згоряння;
- форма камери згоряння;
- форма і напрямок факела палива;

- "пробивна здатність" і дисперсність розпилювання факела палива;
- тривалість впорскування;
- величина подачі палива за градусами кута повороту колінчастого вала.

З метою забезпечення ідентичності характеристик впорскування в конструкціях форсунок жорстко регламентується підйом голки розпилювача (допуск у вітчизняних форсунках до 0,07 мм, у форсунках зарубіжних фірм – до 0,03 мм) [73, 80, 87, 124]. Одночасно посилюються вимоги до ефективного прохідного перерізу розпилювача – допустимі відхилення від номінального значення становлять 6 % і в перспективі мають бути знижені до 2 %.

ПА має забезпечувати і стабільність основних показників процесу паливоподачі від циклу до циклу. Зі збільшенням стабільності процесу паливоподачі від циклу до циклу (міжциклової стабільності) підвищуються економічні показники роботи дизеля і знижуються максимальні навантаження, що діють на деталі його кривошипно-шатунного механізму, тобто збільшується моторесурс дизеля. Міжциклова нестабільність параметрів процесу паливоподачі не повинна перевищувати 5 % [60, 87]. Для забезпечення стабільності параметрів двигуна в часі необхідно, щоб основні показники процесу паливоподачі мало залежали від чинників, що можуть змінюватися в процесі експлуатації двигуна – температури палива, засміченості фільтра тощо.

Основним показником надійності ПА є її ресурс у годинах або термін служби в роках. Відповідно до перспективних вимог до тракторних і комбайнових дизелів міжрегульований період роботи форсунок має становити 3000 год. [87]. У період міжрегульовального терміну зміна циклової подачі не повинна перевищувати 4 % (у перспективі – 1 %), тиску початку впорскування форсунок – 6 % (3 %), пропускної спроможності форсунок – 4 % (1 %) [40, 41, 52, 87].

Паливо в підголковому об'ємі (нижче сідла голки розпилювача) випаровується після завершення процесу згоряння заряду в камері згоряння і призводить тим самим до істотного підвищення рівня емісії вуглеводнів (СН). Тому важливо, щоб ці обсяги (залишкові або шкідливі) були якомога меншими.

Крім того, геометрія сидла голки і форма вершини розпилювача мають вирішальний вплив на характеристики відкриття і закриття розпилювача, що позначається на рівнях емісії сажі та NOx.

З урахуванням цих факторів, залежно від параметрів двигуна і системи впорскування, виготовляють різні модифікації розпилювачів. Безштифтові розпилювачі використовуються на дизелях із безпосереднім уприскуванням палива. Місце встановлення розпилювача визначається в більшості випадків конструкцією двигуна. Розташовані під різними кутами отвори розпилювача мають бути спрямовані в камеру згоряння під оптимальними кутами.

Безштифтовий розпилювач із підголковим об'ємом виготовляється в різних варіантах і різного розміру. Вони поділяються на розпилювачі з підголковим об'ємом і з перекриттям отворів (виходом на заперний конус). Крім того, безштифтові розпилювачі діляться за величиною на:

- тип Р з діаметром голки 3,5 мм і 4 мм (безштифтові розпилювачі з підголковим об'ємом і перекриттям отворів);
- тип S з діаметром голки 5 і 6 мм (безштифтові розпилювачі з підголковим об'ємом для великих двигунів).

Отвори безштифтового розпилювача розташовані по колу підголкового об'єму. Циліндричні отвори розпилювача залежно від технології обробляються механічним або електроерозійним способом. Конічні отвори виготовляють переважно електроерозійним обробленням.

Безштифтовий розпилювач із циліндричним глухим отвором підголкового об'єму і сферичною вершиною, що складається з циліндричної та напівсферичної частин, дає більшу свободу вибору таких параметрів, як кількість і довжина отворів, а також кут конуса розташування осей отворів. Вершина розпилювача має форму півсфери, що разом із формою глухого отвору підголкового об'єму розпилювача забезпечує однакову довжину отворів розпилювача.

Безштифтовий розпилювач із циліндричним глухим отвором підголкового об'єму та конічною вершиною має довжину соплового отвору від 0,6 мм

Застосування конічної форми вершини підвищує її міцність через збільшення товщини стінки між радіусом 3 галтелі та радіусом сидла 4 корпусу розпилювача.

Безштифтовий розпилювач із конічним глухим отвором підголкового об'єму і конічною вершиною має менший залишковий об'єм, ніж розпилювач із циліндричним отвором. Цей залишковий об'єм за величиною перебуває між об'ємами безштифтового розпилювача з отворами на посадковій поверхні та безштифтового розпилювача з циліндричним глухим отвором підголкового об'єму. Для того щоб отримати рівномірну товщину стінки вершини, остання виконана з еквідистантною до конічного глухого отвору підголкового об'єму зовнішньої поверхнею [74].

Досконалішою модифікацією є безштифтовий розпилювач із підголковим мікроб'ємом. Залишковий об'єм скорочено приблизно на 30% по відношенню до звичайного безштифтового розпилювача.

Розпилювач із підголковим мікроб'ємом особливо добре поєднується з системою Common Rail, яка характеризується відносно повільним підйомом голки і водночас порівняно тривалим дроселюванням під час відкриття. Такий розпилювач для системи Common Rail являє собою найкращий компроміс між незначним залишковим об'ємом і рівномірним розподілом паливних факелів.

Для того щоб мінімізувати залишкові об'єми і разом з ними рівень емісії СН, входи отворів розпилювача розташовуються на сидлі корпусу. При закритому розпилювачі його голка перекриває отвори так, що безпосередній зв'язок між підголковим об'ємом і камерою згоряння припиняється (рис. 1.5).

Безштифтові розпилювачі з отворами на сидлі мають низьку межу навантаження і тому виготовляються з довжиною отвору розпилювача від 1 мм. Форма вершини розпилювача конічна. Отвори розпилювача обробляються в основному електроерозійним способом. Спеціальна форма отворів розпилювача, подвійна напрямна голки або складна геометрія носка голки додатково покращують у розпилювачах із сопловими отворами на сидлі розподіл факелів палива та утворення суміші.

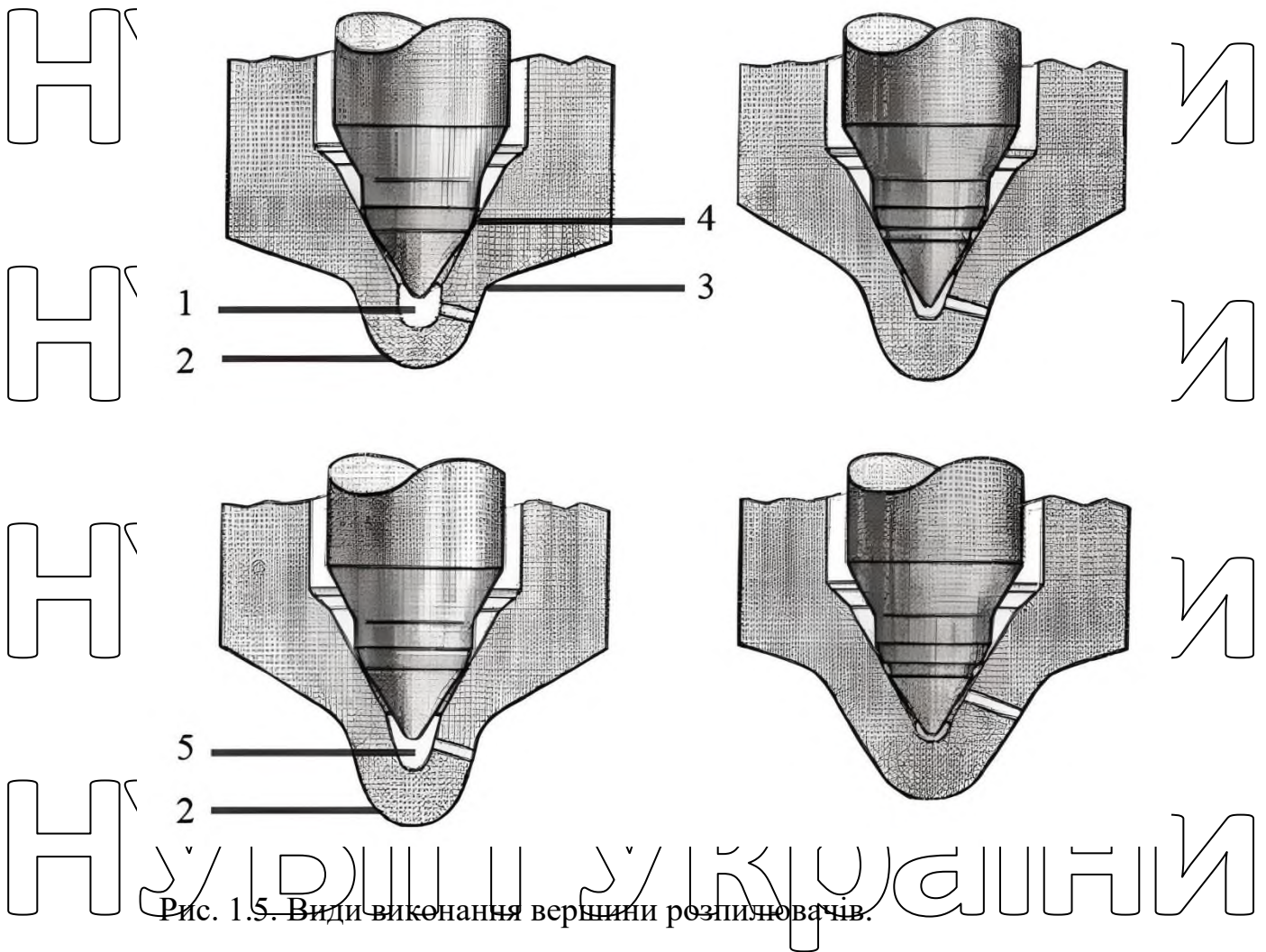


Рис. 1.5. Види виконання верхини розпилювачів.

Однак такі форсунки також не позбавлені недоліків. У процесі впорскування через таку форсунку на основній ділянці ϕ_{cp} (рис. 1.3) подачі струмінь витікає з розпилювача з великими швидкостями, і при цьому досягається гарне розпилювання палива. У заключній стадії впорскування, після відсічення, швидкість знижується. Витікання палива відбувається за малого перепаду тисків (ділянка ϕ_2 , рис. 1.3, в) під дією руху голки від упору до сідла і сил інерції потоку. При цьому з розпилювального отвору витікає струмінь із великими краплями палива.

Процес ускладнюється повільною посадкою голки, викликаною інертністю пружини, масою рухомих частин, протитиском газів камери згоряння. Повільна посадка голки збільшує ймовірність прориву газів у порожнину розпилювача і закоксовування розпилювальних отворів.

Крім цього, принцип замикання голки пружиною має ще один недолік. Хвильові явища в паливопроводах високого тиску, що виникають після замикання голки, спільно з наростаючим тиском газів у циліндрі двигуна здатні виробляти повторні підйоми голки. Неповне повторне відкриття голки створює дроселювання палива в зоні замикаючого конуса. Тому, в цьому разі, якісного розпилювання палива не відбувається, виникає додаткове утворення великих крапель, що істотно знижує економічні показники роботи дизеля.

Дослідженнями [85] також показано, що на певних режимах додатковий підйом голки може відбуватися навіть при тисках, менших за тиск початку підйому голки, за рахунок коливального характеру зміни сили пружини (рис. 1.6).

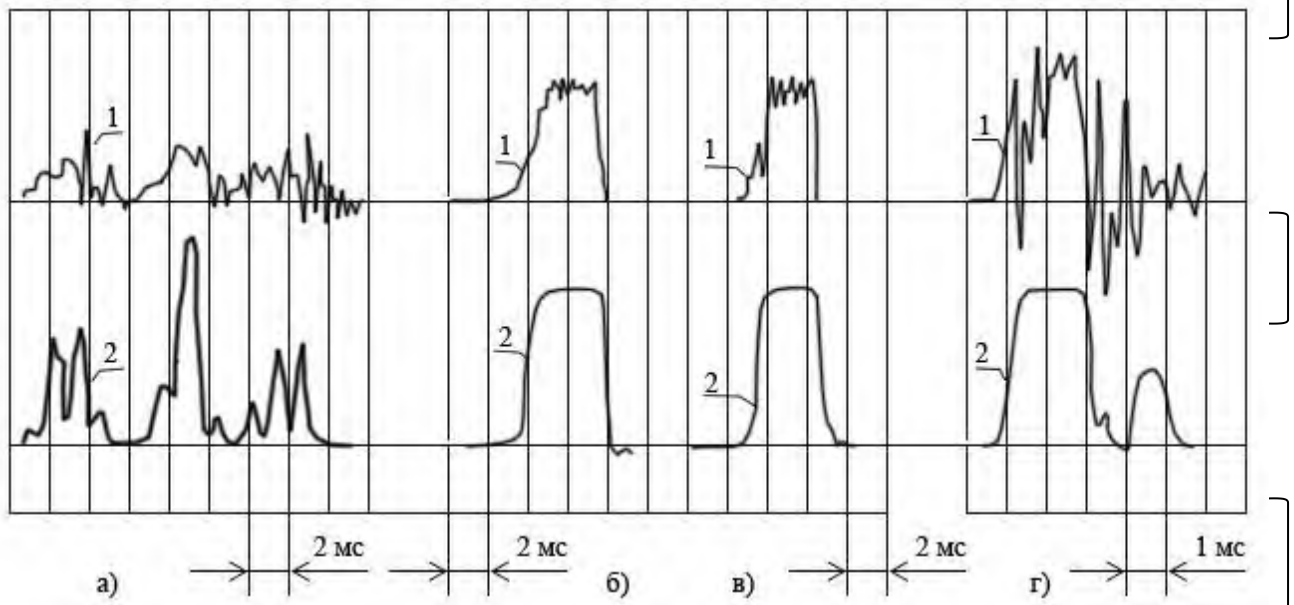


Рис. 1.6. Осцилограми зміни зусилля пружини (1) і ходу голки (2) в процесі впорскування на різних швидкісних режимах роботи паливоподавальної системи дизеля ЯМЗ ($g_4=150 \text{ мм}^3$): $n=100 \text{ хв}^{-1}$ (а); $n=300 \text{ хв}^{-1}$ (б); $n=500 \text{ хв}^{-1}$ (в); $n=1000 \text{ хв}^{-1}$ (г).

Прагнення отримати на часткових режимах високих тисків впорскування призвело до появи форсунок зі змінним перерізом розпилювальних отворів [6]. Геометрія розпилювача впливає на рівень емісії шкідливих речовин або впливає

на вміст твердих частинок і рівень емісії NO_x , або на рівень шуму роботи дизеля, оскільки від неї залежить кількість пального, яке подається на початку впорскування.

Під час оптимізації форми отворів розпилювача і сідла основною метою є створення надійної конструкції, технологія виготовлення якої забезпечує найменші допуски розмірів. Форма глухого отвору підголкового об'єму впливає, як уже згадувалося, на рівень емісії СН. З варіантів розпилювачів конструктор може вибрати оптимальне поєднання параметрів для конкретного автомобіля.

Дуже важливо, щоб розпилювачі точно відповідали параметрам двигуна та системи впорскування. На станціях технічного обслуговування, щоб не погіршувати потужність дизеля і рівень емісії відпрацьованих газів (ВГ), мають використовуватися тільки оригінальні запасні частини.

Факел палива, що потрапляє з розпилювача в камеру згоряння, на дизелях легкових автомобілів має довгу і тонку форму, оскільки в цих двигунах відбувається сильне вихроутворення. На дизелях вантажних автомобілів, навпаки, викор у камері згоряння слабкий, тому факел короткий і об'ємний. Факели палива за будь-яких умов не повинні перетинатися, інакше сумішоутворення відбуватиметься там, де згоряння вже відбулося, і повітря буде недостатньо. У результаті, можливе утворення зайвої кількості сажі.

З огляду на вдосконалення конструкцій двигунів і систем упрієкування зі складнішими функціональними характеристиками (наприклад, багаторазове впрієкування) необхідна постійна модернізація розпилювачів. Найважливішими завданнями при цьому є:

- мінімізація рівня емісії токсичних речовин, щоб зменшити витрати на дорогі системи очищення ВГ, критичні щодо їхньої утилізації (наприклад, фільтр сажі) або уникнути їх зовсім;

- мінімізація витрати палива;

- зниження рівня шуму роботи двигуна.

Для вдосконалення розпилювача за основними напрямками використовуються різні методи розробки. Конструкційні матеріали, з яких

робляться розпилювачі, постійно вдосконалюються для досягнення більш високої довговічності та працездатності. Необхідність забезпечення багатфазного впорскування також впливає на конфігурацію розпилювача.

Мініатюризація форсунок дає змогу знизити мертві об'єми, отже, підвищити тиск упорскування, а також збільшити швидкодію завдяки малим масам, зменшити схильність до закоксування розпилювача, уникнути проблеми його перегріву.

Нині у зв'язку з підвищенням вимог до якості роботи елементів паливної апаратури істотно жорсткішими стали критерії оцінки якості роботи дизельних форсунок. Тиск початку впорскування, рухливість голки, якість розпилювання

палива, герметичність по замикаючому конусу розпилювачів форсунок (також у місцях ущільнень, з'єднань і на зовнішніх поверхнях порожнини високого тиску) перевіряють на стенді з ручним (механічним) приводом або акумуляторній установці, обладнаній пристосуваннями для кріплення форсунки або розпилювача, манометром за ГОСТ 2405 і приладом відліку часу.

Якщо раніше для перевірки форсунок рекомендували використовувати найпростіші пристосування і прилади типу еталонної форсунки з трійником або максіметр, то тепер необхідно застосовувати спеціальні прилади вітчизняного або зарубіжного виробництва (рис. 1.7).

Стенди для випробування форсунок можуть бути обладнані манометром (рис. 1.7, а, г) або електронною індикацією тиску (рис. 1.7, в, г, д) та містити колбу для збору розпиленого пального з пневмовідсмоктувачем (рис. 1.7, в, д) або окреме пристосування для цього (рис. 1.7, б). Для перевірки та регулювання

двопружинних форсунок використовують приставку, що створює тривалий імпульс підвищеного тиску (рис. 1.7, б). Якщо раніше для перевірки форсунок

рекомендували використовувати найпростіші пристосування і прилади типу еталонної форсунки з трійником або максіметр, то тепер необхідно застосовувати спеціальні прилади.

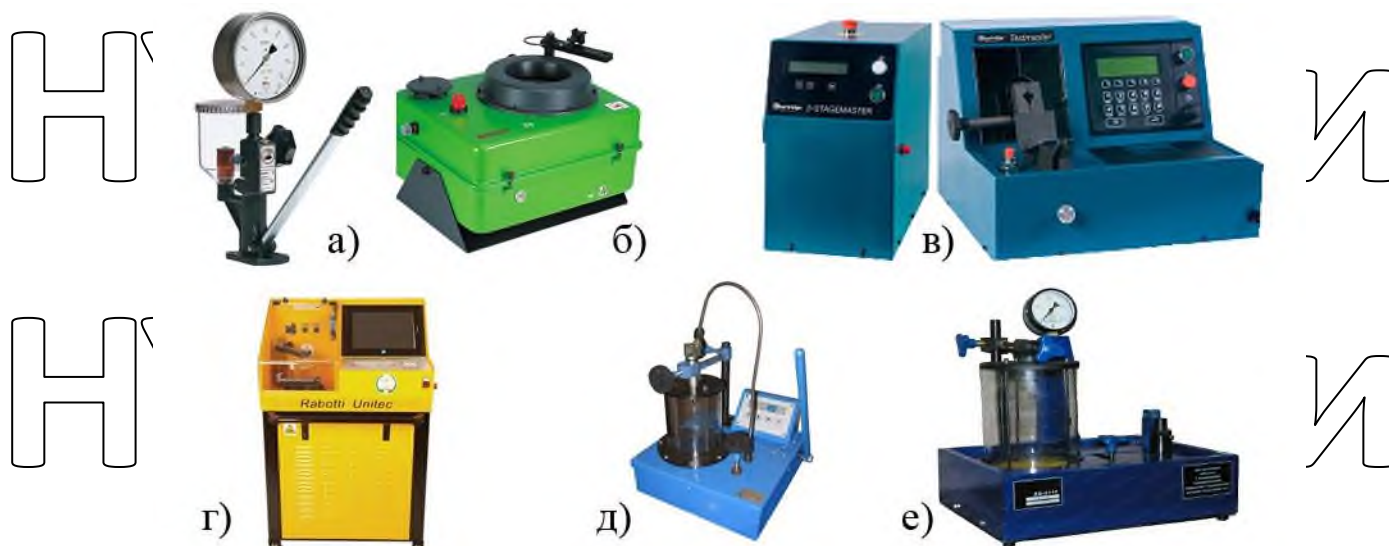


Рис. 1.7. Стенди для випробування форсунок:

а – EPS 100 з ванною (б) для збору паливного туману EPS738 фірми Bosch, в – НН-701 з приставкою НН-720 фірми Hartridge; г – DSS100 фірми Rabotti, д – М-106Е ТОВ "Бонус"; е – ДД-2110 ВАТ "Мопаз".

Особливості сучасних випробувальних стендів для форсунок дизелів, здебільшого, полягають у цифровій реєстрації результатів випробувань, можливості сполучення з РС і відповідною технологією протоколювання, зберігання та виведення результатів, а також у можливості випробувань двопружинних форсунок або інших форсунок, які реалізують ступінчасте впорскування. Крім того, більшість електронних стендів дають змогу оцінювати гідрощільність прямої частини розпилювача за часом падіння тиску.

Для перевірки та регулювання форсунок зі ступінчастою подачею використовується приставка НН720, що створює тривалий імпульс підвищеного тиску (рис. 1.7, в). Електронна система реєстрації розшифровує записану криву і виводить на дисплей два рівні тисків сирацьовування (наприклад, за першою і за другою пружиною).

На результат вимірювань під час перевірки форсунок, зокрема, впливають пошкоджені об'єми приладу для перевірки форсунок (відмінності в конструкції пристроїв і манометрів від різних виробників).

У вимогах Міжнародної організації зі стандартизації ISO 8984 [частина 1 "Anforderungen an die Geräte" ("Вимоги до пристроїв"), частина 2 "Prüfverfahren" ("Спосіб випробування")] визначено уніфіковані приписи, що стосуються приладів для перевірки та умов випробувань форсунок.

Прилад для перевірки форсунок EPS 100 (рис. 1.7, а, б) відповідає цим приписам та умовам випробувань і має такі особливості:

- відповідає ISO-8984-1;
- ємність для компенсації обсягів;
- певний рівень обслуговування;
- манометр із похибкою 0,6;
- знижене зусилля повернення важеля;
- фіксовані інтервали перевірки та обслуговування.

Гарантійне обслуговування форсунок фірми Bosch проводиться тільки з використанням цього стенду EPS 100. Використання інших пристосувань неприпустимо і призведе до розірвання гарантійної угоди між виробником форсунок і покупцем.

За допомогою приладу для перевірки форсунок EPS 100 перевіряються форсунки розмірів P, R, S і T з відповідними корпусами форсунок і на нижченаведені технічні характеристики.

- тиск відкриття;
- параметри биття (деренчання);
- форма струменя (перевірка зовнішнім оглядом);
- герметичність конічного гнізда (перевірка зовнішнім оглядом);
- герметичність форсунки в зборі.

Не всі наявні ремонтні майстерні забезпечені сучасними стендами для перевірки форсунок, що позначається на якості ТО і ремонту форсунок.

Таким чином, для проведення якісного ремонту сучасних малогабаритних форсунок під час післягарантійного обслуговування практично відсутні прийнятні технології та пристосування. Для підвищення якості ремонтних робіт

необхідно розробити і впровадити нові критерії оцінювання параметрів роботи форсунок, а також технологію і засоби їх ремонту.

1.3. Аналіз факторів, що впливають на якість і надійність роботи форсунок автотракторних дизелів і способи оцінки показників якості їхньої роботи.

Умови роботи сільськогосподарської техніки важкі. Причиною тому є погана якість палива, високе напруження за сезон, робота з переваженнями, великий набір збиральних культур, переміщення регіонами, тривалий термін проведення збиральних робіт, великі перепади температури впродовж сезону, сезонне збільшення тривалості робочої зміни та недотримання міжсервісного інтервалу, а також недбале ставлення до техніки і, як наслідок, часте пошкодження вузлів та агрегатів.

Якість роботи паливоподавальної системи (ППС) у процесі експлуатації визначається стабільністю конструктивно-регульовальних параметрів і процесу подачі палива та оцінюється рівномірністю циклової подачі, ідентичністю тривалості впорскування, закону подачі, кута випередження впорскування тощо. Стабільність конструктивно-регульовальних параметрів і параметри паливоподачі визначаються технічним станом вузлів і агрегатів ППС.

ППС тракторного дизеля має забезпечити подачу палива за короткий проміжок часу (0,001...0,01 с) точно дозованих відносно малих порцій палива ($10...200 \text{ см}^3$), у заданий період робочого циклу в циліндри дизеля згідно з порядком їхньої роботи під високим (130 МПа і більше) тиском, який змінюється за визначеним законом, причому стабільність основних показників процесу подачі палива від циклу до циклу має бути досить високою.

Основним показником надійності ППС є її ресурс у годинах або термін служби в роках. Відповідно до перспективних вимог до ППС тракторних і комбайнових дизелів міжрегульований період роботи форсунок має становити

3000 год [50, 87]. В період міжрегульовального терміну зміна циклової подачі не має перевищувати 4 % (у перспективі – 1 %), тиску початку впорскування форсунки – 6 % (3 %), пропускну здатності форсунок – 4 % (1 %) [40, 41, 52].

Під час розроблення ПА тракторних і комбайнових дизелів слід керуватися ГОСТ 23.1.127-84 і ГОСТ 23.1.126-84. Окремі вузли і деталі ПА, особливо прецизійні елементи, повинні задовольняти спеціальним вимогам, регламентованим ГОСТ 25708-83. Необхідно підвищувати технічний рівень експлуатації, зокрема, шляхом широкого впровадження діагностики.

Одним із важливих показників паливоподачі є циклова подача, яка представляє об'єм або вагову кількість палива, що подається в циліндр двигуна за одне впорскування.

Відповідно до ГОСТ 10578-96 відхилення годинного або середнього циклового подавання на номінальній частоті обертання його вала або частоті обертання, що відповідає максимальному крутному моменту під час регулювання на стенді, для автотракторних дизелів не повинно виходити за межі $\pm 1,5\%$. На основі аналізів технологічних карт (тест-планів) діагностування інжекторів акумуляторних ППС визначено допуски на середньоциклові подачі на номінальному режимі та режимі максимального крутного моменту, що становлять відповідно $\pm 2\%$ і $\pm 3\%$.

Найважливішим параметром процесу паливоподачі поряд із цикловою подачею палива є кут випередження впорскування палива. Він показує (у градусах повороту колінчастого вала двигуна) положення поршня відносно верхньої мертвої точки (ВМТ) у момент початку впорскування.

Випередження впорскування визначає тривалість і розташування ділянки згоряння щодо ВМТ поршня і, як наслідок, величину питомої ефективної витрати палива, динамічні показники процесу згоряння. Оптимальна величина θ (у град, п.к.в.) залежить, крім конструктивних особливостей двигуна, і від режиму його роботи. Тобто кожному режиму роботи відповідає своє оптимальне з точки зору паливної економічності значення θ .

За традиційних ППС безпосередньої дії в міру зниження навантажень і частоти обертання двигуна знижується середній тиск упорскування і, як наслідок, погіршується закон подачі палива, а отже, знижується економічність роботи двигуна. В акумуляторних ППС тиск і характеристика впорскування керується електронним блоком керування.

Таким чином, техніко-економічні та екологічні показники двигуна значною мірою визначаються параметрами паливоподачі, які в процесі експлуатації змінюються і, як наслідок, призводять до погіршення якісних показників роботи дизеля. У зв'язку з цим своєчасне виявлення відхилень у роботі системи паливоподачі та якісний ремонт є досить актуальним завданням.

Оцінка показників роботи ППС проводиться, як правило, під час проведення технічного обслуговування. Технічне обслуговування призначене для підтримання елемента ППС у технічно справному стані, зменшення інтенсивності зношування деталей, а також для виявлення відмов і несправностей з метою їх своєчасного усунення.

Технічне обслуговування паливної апаратури вітчизняного виробництва засноване на планово-попереджувальній системі обслуговування. Найповніше розкрито питання експлуатації та ремонту традиційної паливної апаратури автотракторних і комбайнових дизелів у роботах [6, 8, 18, 19, 20].

Відповідно до рекомендацій заводів-виготовлювачів під час щозмінного технічного обслуговування (ТО) паливної системи перевіряють оглядом відсутність патьоків палива. Під час проведення експлуатаційної обкатки, ТО-1 (10000 км пробігу для автомобілів або 125 мотогодин для тракторів) і ТО-2 (50000 км пробігу або 500 мотогодин) додатково включають операції зливання відстою з фільтрів грубого очищення пального та, за потреби, заміну фільтра тонкого очищення. Так само очищається відстійник паливного бака і система його вентиляції.

Під час проведення ТО-3 (1000 мотогодин тільки для тракторів) додатково до операцій ТО-2 перевіряють і за потреби регулюють форсунки та ПНВТ. Під час технічного обслуговування форсунок визначають якість розпилювання і тиск

початку впорскування. Якість розпилювання оцінюють за комплексом непрямих показників: дрібності частинок розпиленого палива, щільності розподілу частинок палива за поперечним перерізом факела; гідравлічної щільності за напрямною поверхнею голки; герметичності за замикаючим конусом і звучності впорскування. Перевіряють працездатність регулятора ПНВТ (за величиною і нерівномірністю циклових подач, мінімальною і максимальною частотами обертання колінчастого вала), тиск, який розвиває підкачувальний насос, тиск або розрядження перед фільтром тонкого очищення палива.

Основна частина трудомісткості технічного обслуговування системи подачі палива належить до операції перевірки і, за необхідності, регулювання ПНВТ, форсунок, кута випередження впорскування палива (12,2...21,3% від трудомісткості технічного обслуговування двигуна). Останнім часом у тракторах і автомобілях, для найповнішого використання ресурсу елементів, що замінюються під час ТО, стали встановлювати різні сигналізатори, зокрема, граничного розрядження пального перед підкачувальним насосом або повітряним фільтром.

Перелік операцій за видами технічного обслуговування конкретних марок паливної апаратури розробляється з урахуванням конструктивних особливостей і умов експлуатації. Наприклад, ТО насоса 4УТНМ згідно з інструкцією з експлуатації слід проводити через кожні 2000 годин роботи. Після досягнення цього терміну ПНВТ знімають із двигуна, промивають чистим дизельним паливом і встановлюють на регулювальний стенд. Наливають у порожнину картера насоса 150⁺⁵⁰ мл ретельно відфільтрованого мастила, перевіряють регулювальні параметри і за необхідності проводять регулювання. Допускається перевірка і регулювання ПНВТ на безмоторному стенді перед визначенням потужності і питомої витрати палива під час проведення ТО-3 тракторного дизеля.

Особливістю технічного обслуговування автотракторної техніки зарубіжних виробників є те, що вона заснована на планово-попереджувальній за станом системі обслуговування. Фірми виробники техніки

при визначенні періодичності обслуговування встановлюють різні терміни і, на відміну від вітчизняної практики, не позиціонують їх як ТО-1, ТО-2 і ТО-3.

Наприклад, техніка виробництва СМН здебільшого орієнтована на ТО з періодичністю 300, 600 мотогодин, нова техніка John Deere – 500 і 1000

мотогодин. Як правило, регламентуються операції обслуговування щозмінне і з періодичністю 50, 100, 200, 500 мотогодин. Наприклад, злив відстою палива з

первинного фільтра проводять через 250 мотогодин, заміна ФТО – через 500 мотогодин або в разі втрати потужності двигуна. За період експлуатації сучасних

автомобілів, тракторів і комбайнів передбачаються проведення тільки операцій

зі зливу відстою з фільтрів, заміни фільтрів очищення палива, промивання

паливного бака. Не передбачені окремі операції з обслуговування та перевірки інших елементів ПА (форсунок, ПНВТ та ін.).

Найбільш трудомістким і витратним є ремонт паливної апаратури, на частку якої припадає близько половини поломок у двигуні.

Значну роль у паливній системі відіграють форсунки, які одночасно є одними з найбільш ненадійних вузлів двигуна. Принципово форсунки всіх

дизелів влаштовані однаково, а розрізняються головним чином конструкцією розпилювача, розмірами прохідних перетинів у них, числом і розміром соплових

отворів і габаритними розмірами.

У процесі експлуатації форсунка піддається різним впливам. Головними з них є температурні та високий тиск. Під час стиснення палива на форсунку діє

тиск, а під час згоряння і високі температури.

Зовнішніми ознаками відсутності різкого відсікання є безшумне та нечітке впорскування пального форсункою (за нормального затягування пружини на

тиск відкриття голки форсунки) і відсутність зниження тиску на встановлене значення після впорскування. Причинами, що зумовлюють недостатньо різке

відсічення, можуть бути:

- 1) забрудненість колодезя в корпусі розпилювача;
- 2) відсутність герметичності або збільшення ширини притирального пояса голки більше встановленої величини;

3) зависання голки або нещільність поверхонь голки та отвору в корпусі розпилювача, що сполучаються.

Забрудненість колодязя розпилювача може бути викликана потраплянням у розпилювач газів або внаслідок розщеплення вуглеводнів палива.

Збільшення ширини притирального пояса голки і розпилювача найчастіше викликається частим або неправильним притиранням голки. Голка, як відомо, має велику твердість, а тому під час притирання швидко зношує цементований шар у розпилювачі.

Зависання голки або перекіс деталей форсунки зазвичай веде до так званих зatoryжних впорскувань. Зовнішньою ознакою зatoryжного впорскування є надмірне падіння (заниження) тиску, що виходить після впорскування в системі стенда. Зовнішньою ознакою підтікання розпилювача слугує поява спадаючих або спадаючих крапель палива до або після впорскування. Причинами підтікання можуть бути:

- 1) незадовільне притирання голки до сидла розпилювача;
- 2) збільшення притирочного пояса голки за шириною понад встановлену величину;
- 3) утворення другого паска на робочому конусі голки, розташованого на деякій відстані нижче притирочного паска;
- 4) одностороннє притирання пояса;
- 5) хвищеподібність і риски на ущільнювальному конусі сидла розпилювача.

Усі ці недоліки форсунки негативно впливають не тільки на різке зниження економічності двигуна, а й призводять до швидкого зношування його частин, особливо шатунно-поршневої групи, поршневих кілець, шийок колінчастого вала тощо.

Отже, такі форсунки мають бути піддані відповідному ремонту.

Несправність розпилювачів пов'язана зі зносом робочих крайок вершини голки і напярмної її стрижня, а також пов'язаних з ними відповідно сидла і напярмного отвору в корпусі. Тому важливого значення в цьому зв'язку набуває

мастило. Деталі розпилювача і всі інші вузли системи живлення дизеля, змащуються паливом.

Крім того, нормальна робота розпилювача порушується в разі засмічення нагаром, який змінює прохідний переріз сопел, коригує форму факела палива, погіршуючи тим самим якість розпилювання, а з ним – сумішоутворення і нормальне згоряння торгочої суміші. Джерелами нагару є смолисті домішки, яких не вдалося позбутися під час виробництва дизпалива або які з'явилися в паливі під час транспортування, хімічно нестійкі компоненти, що перетворюються на смоли під час тривалого або неправильного зберігання палива. Сприяє утворенню нагару і сірка, що міститься в паливі.

Можливе і так зване розмивання соплових отворів. Це результат ерозії, для виникнення якої потрібні дві умови: висока швидкість потоку і наявність у потоці абразивних мікрочастинок.

Зовні порушення в роботі розпилювачів проявляються погіршенням запуску, нестійкою роботою дизеля на холостому ходу, підвищеною димністю вихлопу, падінням потужності і збільшенням витрати палива.

Зношений розпилювач - неправильно розпилює або зовсім ллє паливо цівками. Це стає причиною локального перегріву стінок камери згоряння, що своєю чергою веде до появи тріщин на головках або поршнях залежно від розташування камери згоряння. Буває, що паливо, яке опинилося на стінках камери, не встигає вчасно випаруватися, і тоді горюча суміш догорає у вихлопному колекторі, після чого тріщини можуть з'явитися на ньому.

Крайньою формою зносу є задираки і викришування на контактуючих поверхнях. У таких випадках голка здатна заклинитися в корпусі розпилювача. Якщо голка зависне в положенні "закрито", форсунка взагалі перестанє працювати, дизель при цьому "троїть". Коли голка зависає в положенні "відкрито", форсунка ллє. До вищевказаних наслідків може додатися гідроудар.

Причиною появи тріщин на корпусі розпилювача є вода, що залишилася після відсікання подачі палива під конусом голки, всередині носика розпилювача. Дизельне паливо – складний продукт, що складається з різних

вуглеводневих сполук, температура кипіння яких лежить у межах від 160 до 380 градусів, тому і закипають вони поступово, у міру нагрівання. Вода закипає за нижчої температури. Невеликий об'єм води перетворюється на пару практично миттєво, що нагадує мікробибух.

Тріщина виводить розпилювач з ладу. Симптоми і можливі наслідки ті самі, що й за звичайного зносу розпилювачів, але до переліку проблем доведеться додати ще одну. Були випадки, коли кілька тріщин об'єднувалися, і тоді розпилювач руйнувався. Іноді при цьому голка провалювалася всередину циліндра з подальшим пошкодженням поршня і головки циліндрів.

Відповідно до ГОСТ 10679-88 форсунки (розпилювачі) перевіряються за параметрами:

- тиск початку впорскування;
- герметичність за замикаючим конусом;
- герметичність форсунки в місцях ущільнень і з'єднань;
- рухливість голки і якість розпилювання палива;
- гідрощільність розпилювача форсунки;
- прохідна здатність, що характеризується ефективним прохідним

перетином розпилювача.

Відповідно до введеного в ГОСТ 10579-88 допущення встановлювати критерії оцінювання якості форсунок за стандартом ІСО 8984-2, форсунки (розпилювачі) згідно з останнім перевіряються на:

- тиск початку впорскування;
- герметичність по замикаючому конусу;
- "дзвінкість" (дроблення);
- гідрощільність.

Рухливість голки характеризує наявність необхідного зазору між спрямовувальною поверхнею голки та корпусом розпилювача, а також відсутність механічних частинок у цьому зазорі. Оцінюється здатністю голки вільно рухатися під дією власної маси в корпусі розпилювача.

Гідравлічна щільність характеризує величину зазору між прямою поверхнею голки та корпусом розпилювача, що оцінюється часом зниження тиску палива в певному інтервалі всередині системи "прилад – форсунка".

Форсунка і розпилювач мають бути герметичні по замикаючому конусу, форсунка, крім того, – у місцях ущільнень, з'єднань і по зовнішніх поверхнях.

Герметичність по замикаючому конусу голки характеризує стан замикаючих конусів розпилювача. Вона оцінюється візуально наявністю або відсутністю підтікань палива з носка розпилювача протягом певного часу за підтримки в системі "прилад – форсунка" постійного тиску, близького до тиску початку впорскування.

Якість розпилювання оцінюється тонкістю і рівномірністю розпилювання (туманоподібний стан), чіткістю початку і кінця впорскування, правильністю паливного факела. Він визначається візуально, впорскуючи паливо з певною частотою за номінального значення тиску початку впорскування.

Тиском початку впорскування називається такий тиск палива в системі "прилад – форсунка", за якого відбувається відкриття голки форсунки і здійснюється впорскування палива. Він є регульовальним показником, що встановлюється залежно від марки двигуна.

Пропускна спроможність форсунки характеризує загальний ефективний прохідний переріз розпилювальних отворів і оцінюється часом витікання певної кількості пального через форсунки під постійним тиском. За цим показником форсунки розбивають на групи і на двигун встановлюють форсунки однієї групи.

При цьому аналіз роботи сучасних форсунок показав, що ці методи оцінки не дають змоги в повному обсязі оцінити стан форсунки (розпилювача). Так, діагностування форсунки типу Common Rail і насос форсунки передбачає також перевірку параметрів передвприскування і доввприскування, а також таких показників, як характеристика впорскування. Фірма Bosch у своєму керівництві з ремонту в ESItronic вказує на наявність чотирьох груп "брякання" і попереджає, що відсутність характерного звуку зовсім не означає непридатність

розпилювача. Також велика увага приділяється оцінці роботи розпилювача за якістю розпилюваного струменя.

Дослідженню процесу впорскування і розпилювання та його впливу на роботу двигуна присвячено багато робіт, зокрема роботи І.В. Астахова, В.А.

Ванштейда, А.С. Латишевського та ін. Розпилювання палива різко збільшує поверхню рідини, що прискорює процеси тепло- і масообміну між нагрітим повітрям і рідиною. Зниження розмірів частинок забезпечує їх нагрівання і випаровування в короткі проміжки часу.

Форма камери згоряння і метод застосовуваного сумішоутворення висувають різні вимоги до розпилювання палива і розвитку факела. Вимоги до дрібності розпилювання змінюються також у міру розвитку впорскування палива в камеру згоряння. Особливо небажано в цьому випадку утворення великих крапель наприкінці впорскування. Необхідно також отримання достатньої для швидкого займання кількості дрібних крапель на початку подачі палива.

Фотографування струменів палива [18, 77], що випливають із круглих отворів із різними швидкостями у відносно нерухоме повітря, показало, що характер розпаду струменів, залежний для цієї конструкції сопла і випробуваного палива від швидкості витікання, різний. За малих швидкостей витікання на поверхні струменя виникають осесиметричні коливання, зростання яких призводить до утворення окремих крапель. Зі збільшенням швидкості витікання виникають хвиляподібні деформації струменя, вісь його викривляється, що призводить до хвильового розпаду. Під час витікання струменя з великими швидкостями розпад струменя починається безпосередньо поблизу сопла. При цьому спочатку утворюються нитки, шівки і великі краплі (уламки струменя), які потім під дією сил поверхневого натягу і аеродинамічного опору дробляться на більш дрібні краплі. Такий розпад струменя прийнято називати розпилюванням.

Аналіз чинників, що спричиняють розпад струменя, показує [24], що початковими є початкові збурення потоку палива, які виникають під час його руху в розпилювачі.

У своїй роботі [5] І.В. Астахов зазначає, що в процесі впорскування через багатосоплову форсунку на основній ділянці подачі палива струмінь витікає з розпилювача з великими швидкостями, при цьому має місце розпилювання палива. Однак наприкінці впорскування швидкість починає знижуватися.

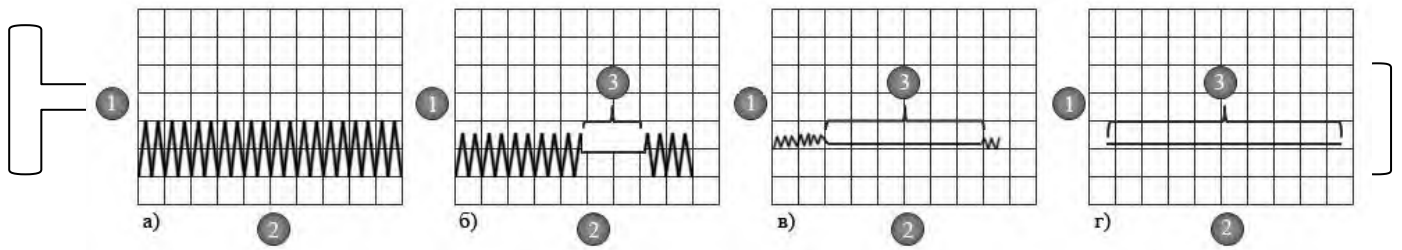
Витікання палива в цьому випадку відбувається за малого перепаду тисків під дією руху голки до упору до сідла і сил інерції потоку. На початковій ділянці впорскування паливо витікає з розпилювача також із малою швидкістю. При цьому може виникати циліндричний нерозпадений струмінь, який руйнується порціями палива, що слідує за ним з наростаючими швидкостями. У результаті розпаду струменя утворюється велика кількість крапель різних розмірів.

В роботі [44] представлено гіпотезу про механізм розпаду, структуру і взаємодію елементів струменя. У цій роботі розглянуто взаємозв'язок протікання впорскування від динаміки підйому і положення голки розпилювача. Подібні експерименти проводилися за кордоном [45], де також розглянуто вплив динаміки руху голки розпилювача на розвиток факела палива, що розширюється.

Таким чином, виявлено, що одним із найважливіших показників роботи форсунки є якість розпалюваного струменя палива, розвиток у часі якого, серед інших, залежить від динаміки руху голки розпилювача.

Водночас для малогабаритних форсунок більш значущими видаються інші критерії оцінки. Внаслідок конструктивних особливостей роботи розпилювача (вихід соплового апарату на запірний конус, збільшення тиску впорскування та ін.) наявність або відсутність брязкоту не є показником несправності форсунки.

Так, згідно з рекомендаціями фірми Bosch параметр "брязкіт" поділено на чотири групи (рис. 1.8.), при цьому в 3 і 4 групі "брязкіт" фактично відсутній і не є показником працездатності форсунки.



а – I група,

б – II група,

в – III група,

г – IV група

Рис. 1.8. Характеристика рухливості голки «брязкоту».

Під час ремонту малогабаритних форсунок підвищена увага приділяється показникам гідроцильності прецизійних з'єднань, тому що з підвищенням тиску впорскування значно зростають витoki палива. У зв'язку з цим для малогабаритних форсунок підвищують момент затягування стягнутої гайки, водночас це негативно позначається на рухливості голки розпилювача, внаслідок деформації його корпусу. Згідно з технологічними вказівками виробників, збирання форсунок після ремонту передбачає усадку корпусу розпилювача і закручування стяжної гайки за допомогою динамометричного ключа в кілька етапів: попереднє затягування з певним моментом, ослаблення на заданий кут, накладення з невеликим заданим моментом і остаточне затягування шляхом повороту накидної гайки на встановлений кут (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Моменти та кути остаточного затягування стягнутої гайки в за залежності від форми торцевої поверхні

Форма поверхні	Момент затягування, Нм	Кут затягування, град
цільнометалева	33...50	63...69
«метелик»	26...45	57...64
«мальтильський хрест»	26...38	50...56

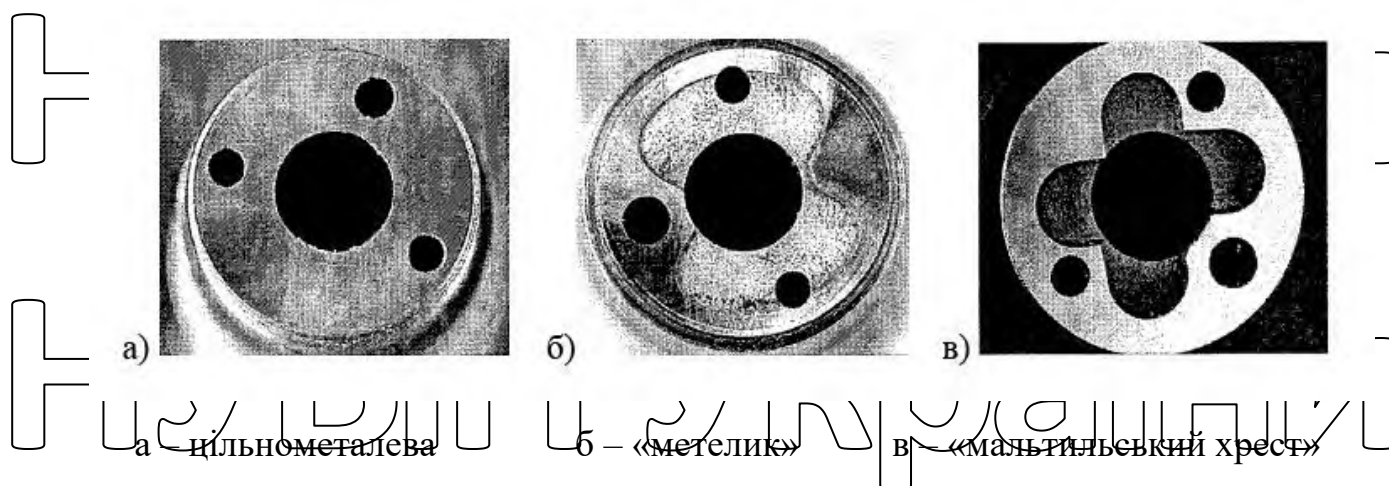


Рис. 1.9. Форми торцевих поверхонь.

Там же зазначено, що залежно від моделі форсунки і форми торцевої поверхні (рис. 1.9) момент затягування змінюється, а за його недотримання розпилювач виходить із ладу, причому немає чіткого обґрунтування діапазонів моменту затягування та конкретного розподілу за групами «брязкоту».

Однак подібні точні інструкції постачаються тільки спеціалізованим дилерам, які обслуговують переважно гарантійну техніку, і не розраховані на глибоке поелементне дослідження процесу їхньої роботи.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ

РОЗПИЛЮВАЧА

2.1. Інформаційна модель функціонування форсунки

Показники якості роботи дизеля та її систем визначаються сукупністю параметрів технічного стану, що залежать від низки чинників: обсягу та характеру виконуваних робіт, ґрунтово-кліматичних умов, прийнятої системи технічного обслуговування та ремонту, якості та наявності технічних засобів обслуговування і технічної документації, якості виконання правил експлуатації та ТО машин. У зв'язку з цим управління параметрами технічного стану можна розглядати певною мірою як спосіб і метод впливу на зміни цих показників якості роботи і надійності протягом експлуатаційного терміну.

Під управлінням технічним станом ПА, а також електрогідрокерованих форсунок слід розуміти цілеспрямовані технічні впливи, що запобігають відмовам, з відновлення номінальних значень і підтримання в допустимих межах сукупності параметрів технічного стану. Таким чином, інжектор можна визначити як об'єкт, що функціонує у взаємозв'язку з різними експлуатаційними факторами та має свої певні закономірності зміни.

На основі програмного моделювання та математично описаних залежностей проведено чисельне дослідження впливу моменту затягування стяжної гайки на показники роботи малогабаритної форсунки.

З огляду на те, що показники роботи форсунки, які характеризуються значенням вихідного вектора B , залежать від стану входів X , K , Y і N , форсунку можна представити як багатопараметричну систему (рис. 2.1). Входи в такій системі поділяються на некеровані N (температура розпилювача, якість палива тощо), керовані Y (тривалість і частота впорскувань) і коригувальні K (тиск початку впорскування, момент затягування стягнутої гайки розпилювача форсунки, діаметр голки розпилювача, довжина її спрямовувальної частини, хід голки) фактори.

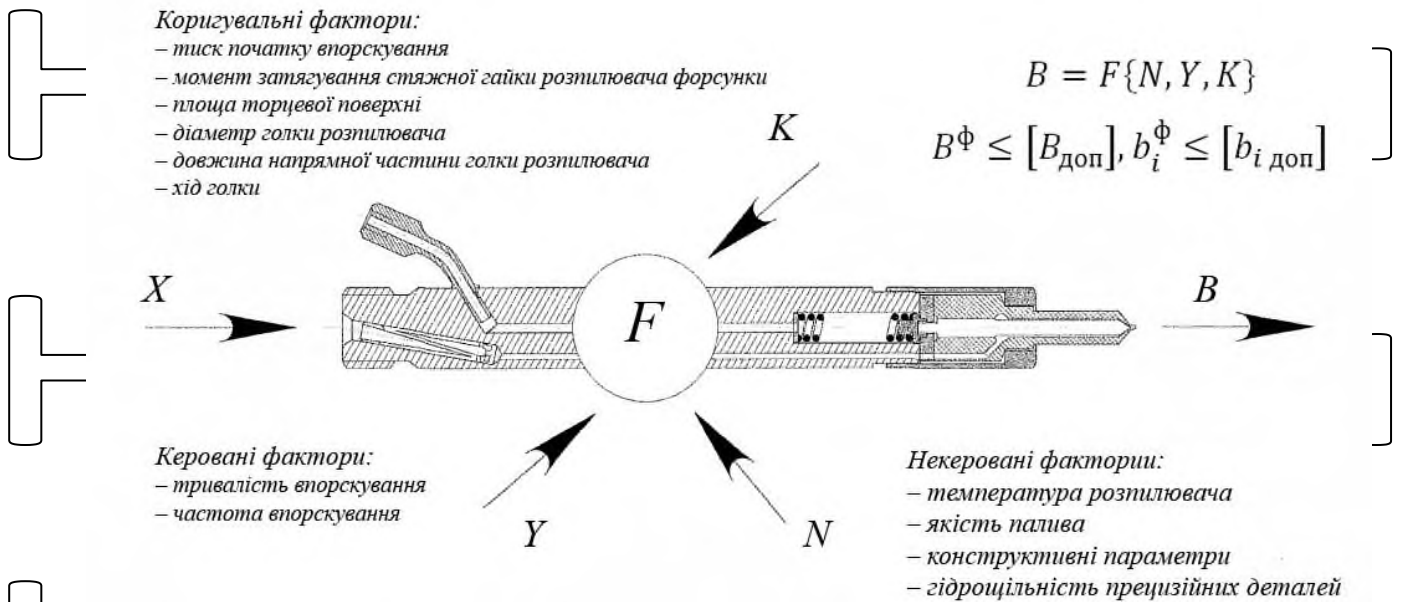


Рис. 2.1. Інформаційна модель форсунки.

Значення вихідного вектора (B) певним чином залежить від стану входів:

$$B = F(N, Y, K), \quad (2.1)$$

де F – оператор перетворення трьох векторних аргументів, визначає узагальнений показник якості системи або умову оптимальності системи.

Якщо фактичні показники роботи форсунки відповідають заданим, то можна вважати, що вона функціонує відповідно до встановлених вимог. Критерії нормального функціонування системи можуть бути визначені як:

$$B^\Phi \leq [B_{\text{доп}}], b_i^\Phi \leq [b_{i \text{ доп}}]. \quad (2.2)$$

У разі неможливості привести систему в нормальний стан зміною керуючих факторів Y необхідно впливати на систему коригувальними факторами K . На прикладі широко поширеної на дизелях сільськогосподарської техніки малогабаритної форсунки фірми Bosch марки KBEL було проведено повний конструктивний аналіз складових її елементів. Виявлено, що з усіх коригувальних чинників тільки два можливо змінювати в процесі експлуатації – тиск початку впорскування і момент затягування стяжної гайки розпилювача.

Перший легко і точно регулюється під час ремонтного вливу, другий недостатньо повно вивчений і потребує докладнішого дослідження робочого процесу форсунки.

2.2. Математичний опис руху голки розпилювача з урахуванням його деформації

З метою оцінки впливу зазору на вихідні показники форсунки були використані математичні моделі на основі гідродинамічного розрахунку, запропонованого І.В. Астаховим і розвинутого далі Л.В. Греховим, з використанням рівнянь руху та нерозривності одновимірного нестационарного потоку стисливої рідини в трубопроводі, рівнянь балансу палива та руху елементів системи.

Під час математичного опису процесів, що відбуваються в лінії високого тиску (ЛВТ), ППС розглядали як сукупність характерних елементів: порожнин, акустично довгих гідравлічних зв'язків (каналів, трубопроводів), регулювальних елементів на кшталт жиклерів, клапанів, золотників, гідропоршнів (плунжерів) і т.д. Це призводить до деякої відмінності реальної схеми від розрахункової (наприклад, короткі канали інтерпретуються не трубопроводами, а порожнинами), але дає змогу значно спростити розрахунки: знизити час розрахунку, поліпшити стійкість розрахунку, спростити алгоритм і підготовку вихідних даних.

Водночас під час розрахунків враховувалися такі чинники, як теплові ефекти, двофазність, тертя в умовах нестационарності, динамічні явища в приводі, різночитання в оцінці пружних властивостей палив тощо.

Крім зазначених, у математичній моделі ППС використовували деякі допущення, які є загальноприйнятими. Так, під час розгляду процесів у трубопроводах нехтували тривимірністю течії під час вигину труб, наявністю ділянки стабілізації течії після місцевих опорів, зниженням швидкості звуку під

дією гідродинамічного тертя, під час використання розв'язку Д'Аламбера – мінливістю швидкості звуку в разі зміни тиску та наявності неізотермічності.

Під час витікання палива через звуження використовували формулу витоків у розпилювачі.

Тертя враховували наявність сил, що перешкоджають руху тіла за рахунок тертя в малому зазорі.

Конструктивно ППС типу CR містить акустично довгі елементи, наприклад, нагнітальні трубопроводи. Нехтування скінченністю швидкості поширення інтерференцією хвиль і збурень у них призвело б до суттєвого спотворення швидкоплинного процесу подачі палива.

У відомих методиках не передбачено дослідження зміни цих параметрів. Вони вводяться як константи. Розроблення моделей інжекторів краще починати із запірного клапана через те, що витрата палива значною мірою визначається принципом роботи його клапанного вузла. Використовували класичний гідродинамічний розрахунок процесу розпилювання палива, реалізований у програмному комплексі "Вприск". Як граничні умови використовувалися рівняння об'ємного балансу в загальному вигляді [6]:

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{1}{V_i \beta_i^{\text{еф}}} \left[\sum Q_{i-k} + \sum U_{i-j} f_j + \sum \frac{dV_{i-n}}{dt} \right] \quad (2.3)$$

де $\beta_i^{\text{еф}} = \beta_i^{\text{паливо}} + k_{\text{деф}}$;

$k_{\text{деф}}$ – коефіцієнт деформації порожнини;

Q_{i-k} – переточки в k -ю порожнину;

dV_{i-n} – зміна об'єму під дією переміщення n -го елемента;

U_{i-j} – швидкість втікання палива з (в) j -го каналу.

Для вхідної порожнини форсунки зі штуцером, фільтром тощо:

$$\frac{dP_{\text{форс}}}{dt} = \frac{1}{V_{\text{форс}} \beta_{\text{форс}}^{\text{еф}}} \left[U_{\text{труб}}^{\text{форс}} f_{\text{труб}} - U_{\text{кан}}^{\text{форс}} f_{\text{кан}} \right] \quad (2.4)$$

Для кінцевої розпилювача маємо:

$$\frac{dP_{\text{карм}}}{dt} = \frac{1}{V_{\text{карм}} \beta_{\text{карм}}^{\text{еф}}} \left[U_{\text{кан}}^{\text{карм}} f_{\text{кан}} - Q_{\text{форс}} - F_{\text{и}} \frac{dh_{\text{и}}}{dt} \right], \quad (2.5)$$

де $h_{\text{и}}$ – хід голки.

За помірних натисків (80...150 МПа) витікання через дросельні перерізи застосування формули витрати для нестисливої рідини не викликає великих помилок:

$$Q = \mu f \sqrt{2(P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}})/\rho}, \quad (2.6)$$

де $P_{\text{вх}}$ і $P_{\text{вих}}$ – тиск до і після розпилювальних отворів.

Для витрат через сопла форсунки маємо:

$$Q_{\text{форс}} = \mu f_{\text{расп}} \sqrt{2(P_{\text{карм}} P_{\text{сред}})/\rho}, \quad (2.7)$$

де $\frac{1}{(\mu f)_{\text{расп}}} = \frac{1}{(\mu f)_{\text{соп}}} + \frac{1}{(\mu f)_{\text{кон}}}$

Для визначення коефіцієнтів витрати конусів і сопел залежно від режимів течії використовувалися емпіричні формули В.І. Трусова. Для закріпленого сидла визначальна залежність – від числа Рейнольдса, побудована з використанням характерного розміру – гідравлічного радіуса. Для звичайних конусів із кутом \approx

60°, залежно від їхньої конструкції відповідним чином інтерпретуючи $d_{\text{кон}}^{\text{min}}$

(тобто як діаметр передсоплового каналу або діаметр додаткового конуса на голці, або канавки на голці), оцінюємо гідравлічний радіус під час підйому голки та коефіцієнт витрати за В.І. Трусовим:

$$R_{\text{гидр}} = 0,25h_{\text{голки}} + 0,00444(d_{\text{кон.голки}}^{\text{max}} - d_{\text{кон}}^{\text{min}}), \quad (2.8)$$

$$\mu_{\text{кон}}^{\text{max}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{F_{\text{кон}}^{\text{min}}}; \quad Re = \frac{R_{\text{гидр}} \mu_{\text{кон}}^{\text{max}}}{\nu}, \quad \mu_{\text{кон}} = \frac{1,425 \cdot 10^{-3}(Re+10)}{\sqrt{0,9+2,25 \cdot 10^{-6}(Re+10)^2}} \quad (2.9)$$

Розрахунок витоків вздовж утворювальних голки і корпусу проводиться на основі розв'язання рівняння руху для повзучої квазіплоскої течії в малому зазорі δ :

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} = \frac{1}{\eta} * \frac{\partial P}{\partial x}. \quad (2.10)$$

Після двохразового інтегрування за радіусом, використання граничних умов – прилипання до нерухомої або рухомої зі швидкістю $W_{\text{и}}$ стінки, використання формули витрати $Q_{\text{ут}} = 2\pi \int r V_{\text{и}} dr$, апроксимуючи градієнт тиску напором $(P_{\text{карм}} - P_{\text{и}})$, враховуючи зміну в'язкості по довжині ущільнення (тобто залежно від тиску за допомогою формули та визначаючи ефективну в'язкість:

$$\bar{\eta} = \frac{P_0}{P_{\text{карм}} - P_{\text{и}}} \int_{P_{\text{и}}}^{P_{\text{карм}}} \mu * c^{P/P_0} * dP = \frac{\eta_0 P_0}{P_{\text{карм}} - P_{\text{и}}} * \frac{c^{P_{\text{карм}}/P_0} - c^{P_{\text{и}}/P_0}}{\ln c}. \quad (2.11)$$

Остаточно формула витоків у розпилювачі:

$$Q_{\text{уг}} = \frac{\pi \delta^3 d_{\text{и}} P_0}{12 L_{\text{и}} \bar{\eta} \ln c} \left(\frac{1}{c^{P_{\text{и}}/P_0}} - \frac{1}{c^{P_{\text{ф}}/P_0}} \right) + 0,5 \pi U_{\text{и}} \delta d_{\text{и}}, \quad (2.12)$$

де: $d_{\text{и}}, L_{\text{и}}, U_{\text{и}}$ – діаметр, довжина ущільнювальної частини та швидкість циліндричного тіла (голки);

$P_{\text{ф}}, P_{\text{и}}, P_0$ – тиск у даній порожнині, у порожнині, в яку відбуваються перетікання, атмосферний тиск.

Поточні обсяги обчислювали з урахуванням переміщення голки. Фізичні властивості палива були визначені з використанням емпіричних залежностей. Для опису закону переміщення голки розпилювача застосовано рівняння її руху.

$$\frac{dW_{\text{и}}}{dt} = \frac{1}{m_{\Sigma}} [(P_{\text{карм}} - P_{\text{ф}0}) P_{\text{и}}^{\text{диф}} + P_{\text{впр}} (F_{\text{и}} - F_{\text{и}}^{\text{диф}}) - P_{\text{кас}} F_{\text{пл}} S_{\text{демпф}}] * \frac{dh_{\text{и}}}{dt} = W_{\text{и}}, \quad (2.13)$$

де m_{Σ} – сумарна маса голки, тарілки, 1/3 пружини; W_{Σ} – швидкість голки; F_{Σ} , $F_{\Sigma}^{диф}$ – площі голки, диференціальна; $C_{\Sigma}^{пруж}$ – жорсткість пружини голки; $S_{демпф}$ – демпфувальна сила тонкої плівки в запереному сидлі. З використанням

найпростішого співвідношення, отриманого під час ідентифікації результатів

експериментів: $S_{демпф} = 113 \cdot 10^6 F_{\Sigma}^{диф} W_{\Sigma}$

Сили, що перешкоджають руху тіла за рахунок тертя в малому зазорі, визначалися з урахуванням витоків (1-й член) і руху голки (2-й член) [26]:

$$S \approx \pi d_{\Sigma} \left[\frac{\delta}{2} (P_{\phi} + P_{\Sigma}) + \frac{V_{\Sigma} L_{\Sigma} \eta}{\delta} \right]. \quad (2.14)$$

Ці формули дали змогу математично описати вплив зміни зазору між голкою і корпусом розпилювача на швидкість переміщення голки, тиск у підсопловому каналі та закон подачі палива. Як оцінний показник використовували графік ходу голки розпилювача, як кінцевий – диференціальну характеристику впорскування.

Таким чином, отримано теоретичні залежності, що дають змогу оцінити вплив моменту затягування на показники роботи форсунки.

За результатами дослідження отримано графічні залежності циклової подачі палива і залишкового тиску в трубопроводі за різних значень моменту затягування стяжної гайки (рис. 2.2).

З рис. 2.2 видно, що величина зазору в сполученні впливає на залишковий тиск у трубопроводі внаслідок зниження швидкості руху голки під час посадки на сидло під дією зусилля пружини.

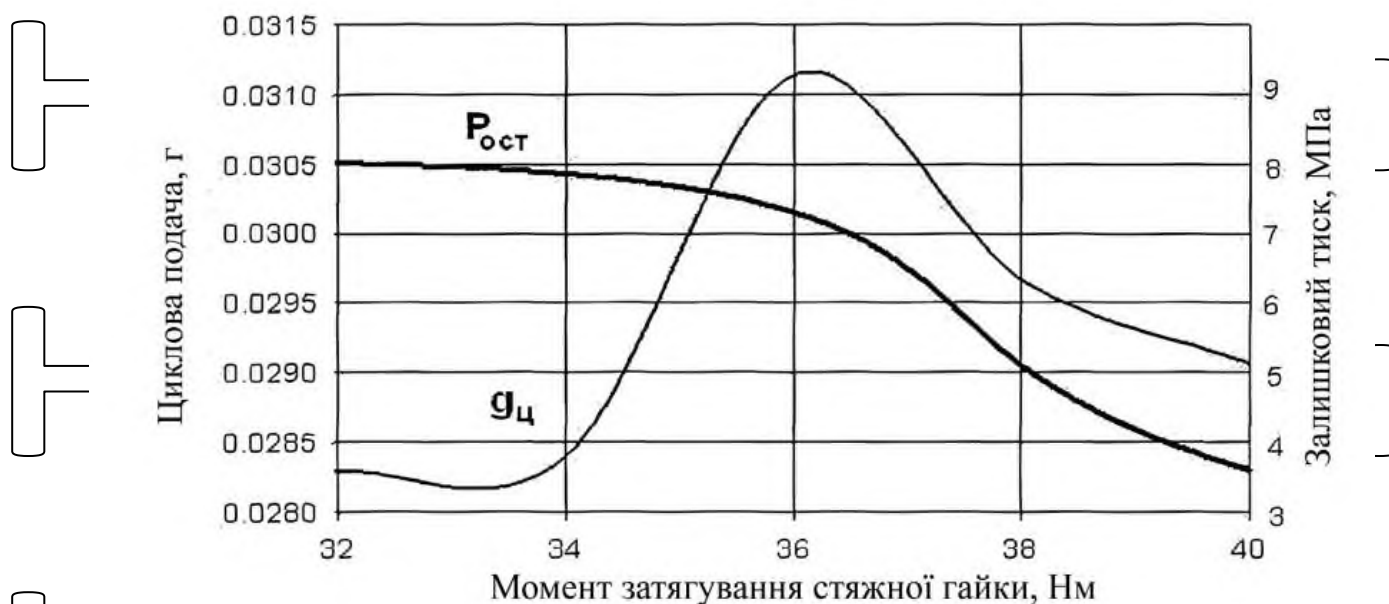


Рис. 2.2. Залежності циклової подачі палива і залишкового тиску в трубопроводі від моменту затягування стяжної гайки розпилювача.

Це характерно для простих механічних форсунок, особливо під час реалізації попереднього впорскування палива, але не проявляється у форсунках типу Common Rail.

Так, для досліджуваної форсунки фірми Bosch марки KBEL максимально допустимий момент затягування не повинен перевищувати 35 Нм.

2.3. Висновки по розділу

– зміна моменту затягування без урахування сил тертя в сполученні голка корпус розпилювача призводить до незначних змін миттєвої подачі через форсунку і характеру переміщення голки розпилювача форсунки, що відбуваються через певне зростання циклової маси витоків під час впорскування;

– величина підйому голки розпилювача не впливає на характер протікання робочого процесу розпилювача;

– розрахунки, що враховують зміну сил тертя в сполученні, показують, що зі збільшенням моменту затягування стяжної гайки розпилювача

відбуваються зміни в характері роботи форсунки, уперше отримано теоретичні залежності, які дають змогу оцінити вплив моменту затягування на показники роботи форсунки;

– виявлено, що для досліджуваної форсунки фірми Bosch марки KBEL

максимально допустимий момент затягування не повинен перевищувати 35 Нм.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

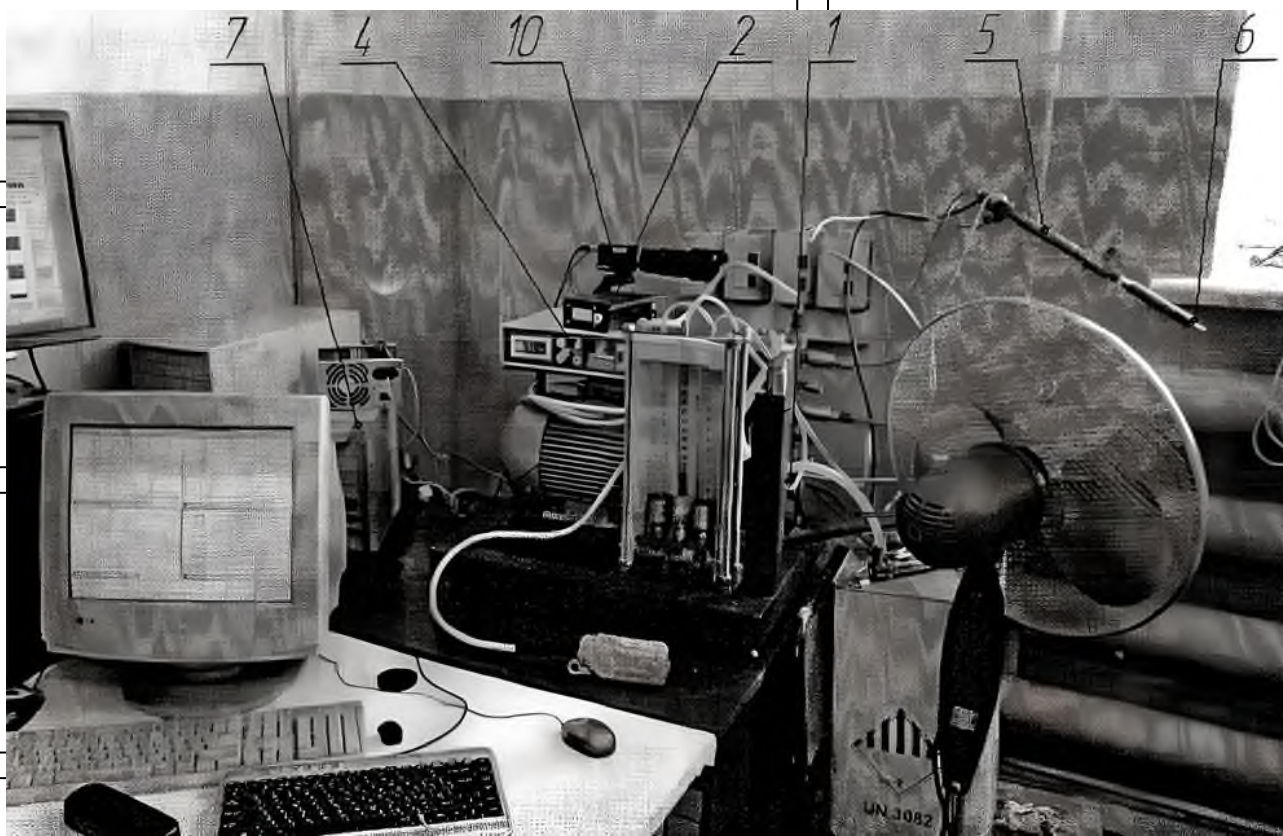
НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1. Розробка експериментального пристрою та методики проведення експериментів

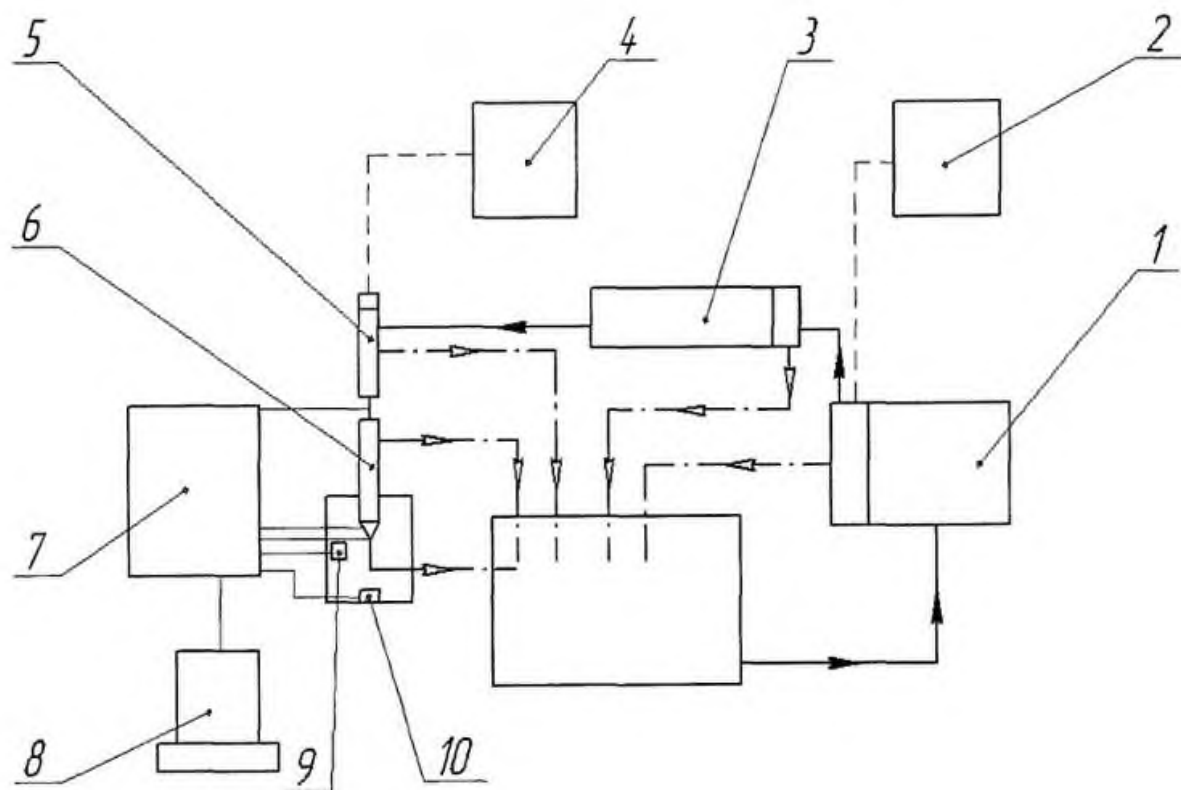
На МТС Фермерського господарства «ПОЛІССЯ» було створено установку, що складається зі стенда для подачі палива та експериментальної форсунки. На експериментальну форсунку встановлено датчики для вимірювання переміщення голки розпилювача, тисків біля штуцера форсунки і в підсопловій кишці розпилювача, мікрофон, для фіксації струменя застосовується фононий екран і швидкісна відеокамера. Регулювання моменту затягування стяжної гайки здійснювалося динамометричним ключем.



1 – стенд для подачі палива; 2 – шим; 3 – гідроаккумулятор; 4 – імітатор сигналу; 5 – пристрій для ідентичної циклової подачі; 6 – експериментальна форсунка; 7 – АЦП; 8 – ПК; 9 – мікрофон; 10 – швидкісна відеокамера

Рис. 3.1. Експериментальна установка.

Схему експериментальної системи з вимрювальним комплексом наведено на рис. 3.2.



1 – стенд для подачі палива; 2 – шим; 3 – гідроаккумулятор; 4 – імітатор сигналу; 5 – пристрій для ідентичної циклової подачі; 6 – експериментальна форсунка; 7 – АЦП; 8 – ПК; 9 – мікрофон; 10 – швидкісна відеокамера

Рис. 3.2. Схema експериментальної установки.

У процесі роботи ПНВТ подає паливо до рампи (гідроаккумулятор) 3 і по паливопроводу високого тиску до інжектора 5, який є пристроєм із регульованою подачею палива до випробовуваної механічної форсунки. Управління електромагнітом здійснюється електронним блоком 4. Зміна тиску в системі здійснюється за допомогою редукційного клапана, до якого подається сигнал різної шпаруватості за допомогою широтно-імпульсного модулятора 2, а вимір тиску проводиться за допомогою універсального вимірювача тиску.

Паливний насос високого тиску (ПНВТ) фірми Bosch (артикул 0455010050), використований під час досліджень для отримання високого

тиску, мав радіальне розташування трьох плунжерів і видавав тиск палива до 160 МПа. Як регулятор тиску в гідроаккумуляторі використовувався редукційний клапан (артикул 0281002493) виробництва фірми Bosch.

Як регулятор тиску в гідроаккумуляторі використовувався редукційний клапан виробництва фірми Bosch наведено на рис. 3.3.

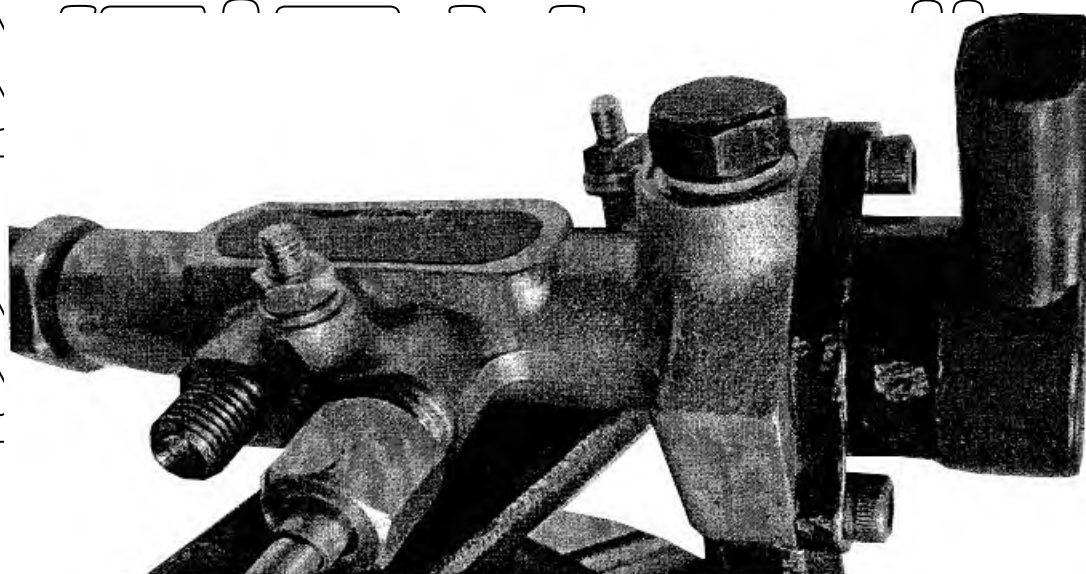
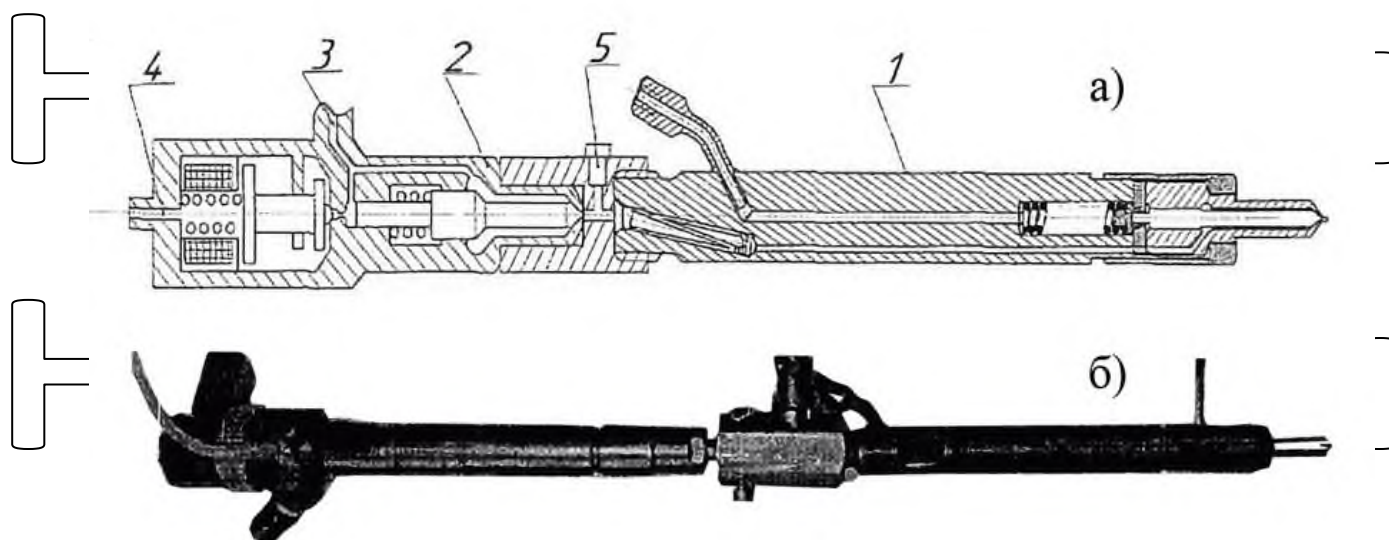


Рис. 3.3. Загальний вигляд гідроаккумулятора з редукційним клапаном.

Паливопідвідні трубопроводи від ПНВТ до акумулятора довжиною 300 ± 2 мм мали зовнішній діаметр 6 мм і внутрішній – 2,5 мм. Від акумулятора до інжектора підходило два паливопроводи завдовжки – 400 мм із зовнішнім діаметром 6 мм, внутрішнім діаметром – 2 мм.

Для проведення експериментальних досліджень у конструкцію інжектора і форсунки було внесено деякі зміни.

Для отримання стабільного, не залежного від зовнішніх чинників, подавання пального до випробовуваної механічної форсунки розроблено пристрій із регульованим подаванням пального на основі інжектора Common Rail. Пристрій для ідентичної подачі палива являє собою модифіковану електрогідрокеровану форсунку фірми Bosch, який наведена на рис. 3.4.



1 – експериментальна форсунка; 2 – пристрій для ідентичної подачі палива;
3 – циклова подача; 4 – витрати на керування й витіки через ущільнення; 5 – датчик тиску у штуцера.

Рис. 3.4. Загальний вигляд (б) і схема (а) пристрою для ідентичної подачі палива.

Відмінною особливістю цього інжектора є можливість електронного управління, що дає змогу виконувати фіксовану подачу палива із заданою стабільною характеристикою та частотою безпосередньо до штуцера експериментальної форсунки, для забезпечення однакового вхідного чинника, що позитивно позначається на вірогідності параметрів, що діагностуються.

На експериментальну форсунку встановлено датчики для вимірювання переміщення голки розпилювача, тисків біля штуцера форсунки і під голкою розпилювача, мікрофон для запису груп дренчання.

Реєстрацію миттєвих значень тиску палива в ЛВТ здійснювали тензометричними перетворювачами МД-10 V-TU-4212-163-00227459-98 (рис. 3.5).

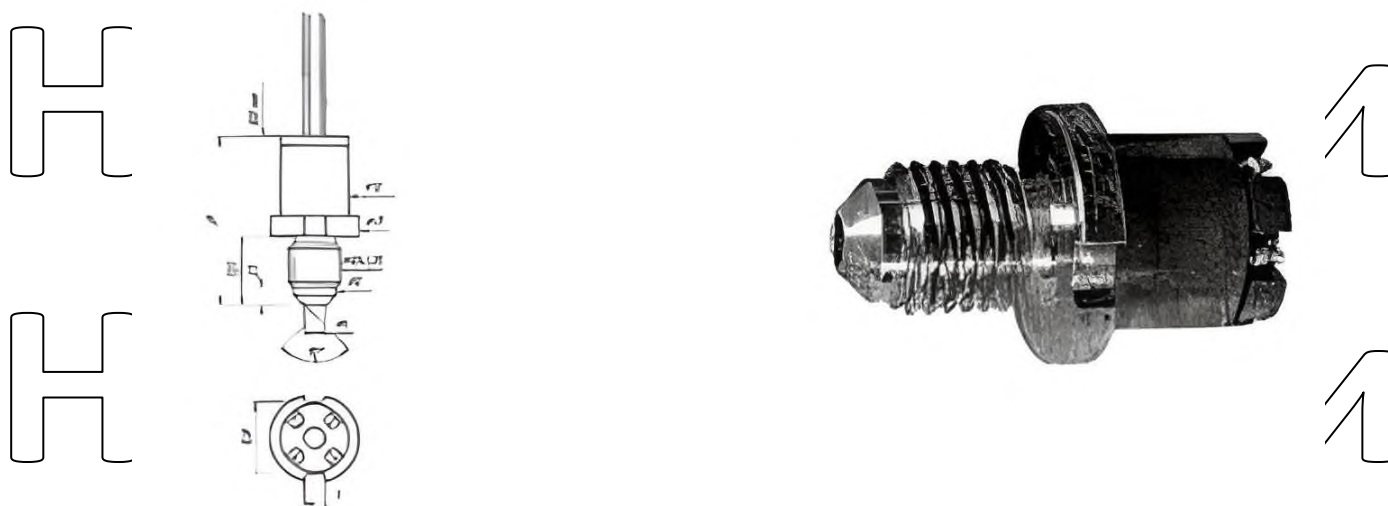


Рис. 3.5. Загальний вигляд тензOMETричного датчика серії МД.

Характеристики тензоперетворювача МД-10 V наведено в табл. 3.1.
Характеристики визначені при живленні напругою постійного струму 10В.

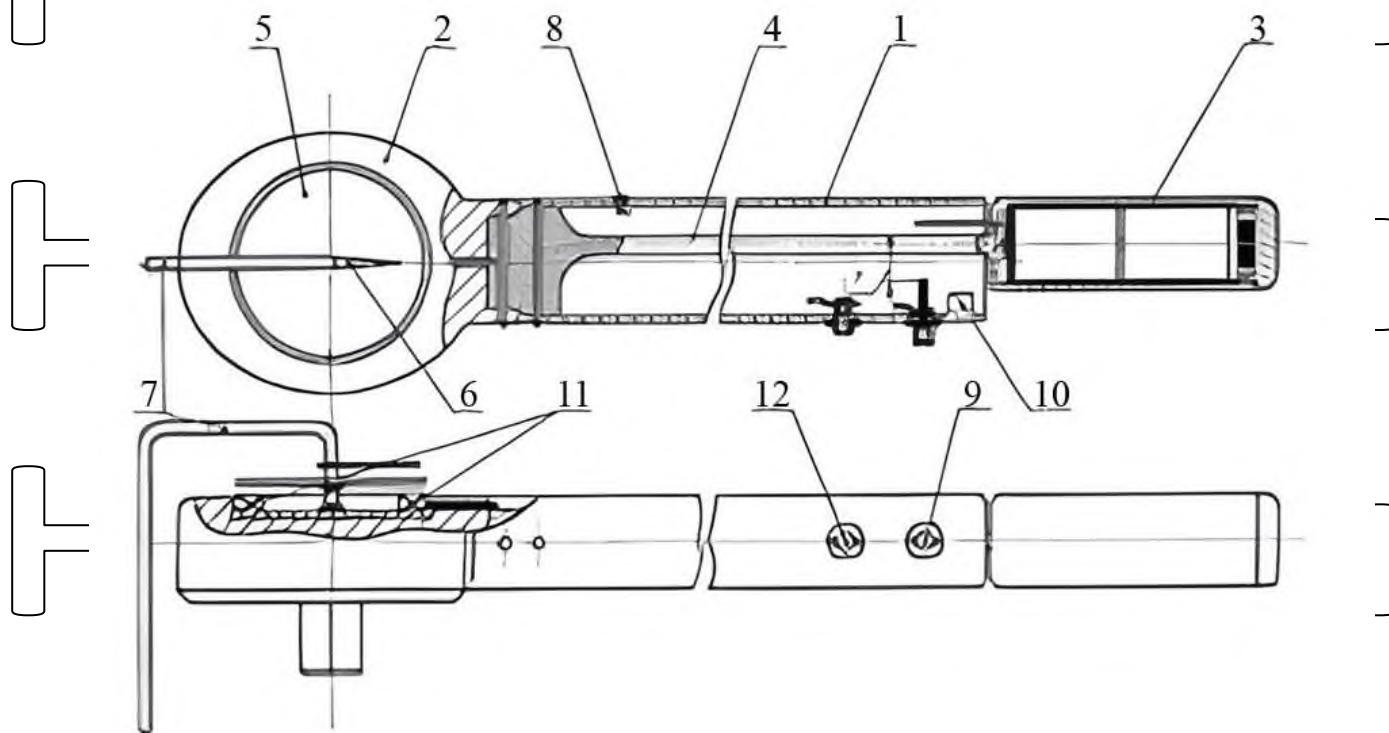
Таблиця 3.1

Технічні характеристики тензоперетворювача МД-10 V.

Параметр	Значення
Нелінійність U_d , %	$\pm 0,2$
Варіація U_d , %	$\pm 0,05$
Діапазон вихідного сигналу U_d за $+20^\circ\text{C}$, мВ	100...200
Початкове значення вихідного сигналу за $+20^\circ\text{C}$, мВ	± 10
Зміна початкового значення вихідного сигналу від температури, % на 1°C	$\pm 0,05$
Зміна діапазону вихідного сигналу від температури, % на 1°C	$\pm 0,05$
Діапазон робочих температур, $^\circ\text{C}$	$-50 + 125$
Діапазон вимірюваних тисків, МПа	0...10
Номінальне значення тиску, МПа	10
Граничне значення тиску, МПа	20
Опір моста за температури $+20^\circ\text{C}$, кОм	$2,5 \pm 0,05$
Напруга живлення, В	4...12

З метою дотримання регламентованої заводом-виготовлювачем технології складання форсунки регулювання моменту затягування стяжної гайки

здійснювали розробленим нами пристрій для збирання форсунок автотракторних дизелів (рис. 3.6).



1 – корпус; 2 – робоча головка; 3 – елемент живлення; 4 – торсіон; 5 – шкала; 6 – нерухома стрілка; 7 – фіксатор; 8 – індикатор; 9 – регульовальний контакт; 10 – упор; 11 – електромагніт; 12 – кнопка обнуління шкали.

Рис. 3.6. Пристрій для збирання форсунок.

Пристрій містить корпус 1, робочу голівку 2, рукоятку з елементом живлення 3, торсіон 4, шкалу 5, нерухому стрілку 6 на фіксаторі 7, елемент індикації 8, регульований контакт 9, упор 10, електромагніт 11 і кнопку обнуління шкали 12.

Пристрій працює таким чином.

Короткочасним натисканням на кнопку обнуління шкали 12 і поворотом фіксатора 7 приводять стрілку 6 до нульового значення на шкалі 5, після чого на наконечник установлюють гайкову голівку (не показано), яку надягають на стяжну гайку форсунки (не показано). Потім закріплюють фіксатор 7 відносно корпусу форсунки, що є базовою деталлю різьбового з'єднання, і починають обертати рукоятку 3 ключа. При цьому шкала 5 залишається нерухомою разом зі

стрічкою 6, з'єднаною з фіксатором. Під час передачі крутного моменту від рукоятки 3 на робочу голівку 2 через пружний елемент 4 останній згинається і, під час досягнення заданої величини крутного моменту, пружний елемент торкається регульованого контакту 9, водночас елемент індикації 8 сигналізує про досягнення потрібного значення крутного моменту, спрацьовує електромагніт 7 та притискає шкалу 5 до корпусу робочої голівки 2. Для остаточного затягування стягнутої гайки рукоятку 3 довертають на заданий кут, зчитуючи показання за шкалою 5, яка рухається разом із корпусом робочої голівки. Пружний елемент 3 при цьому впирається на упор 10 для збільшення граничного моменту. Затяжку закінчують і різьбозакручувальний інструмент переставляють на іншу стяжну гайку.

Налаштування механізму граничного моменту на задане значення моменту спрацьовування здійснюють шляхом зміни зазору h за допомогою регульованого контакту 9.

Особливістю цього пристрою є можливість довертати стяжну гайку форсунки на заданий кут з необхідним моментом і з подальшим після досягнення певного значення граничного крутного моменту. Забезпечується це притисненням шкали до корпусу робочої голівки для їхнього спільного повороту, при досягненні заданого моменту затягування. Подальший поворот ключа на необхідний кут, що відповідає технології складання, контролюється за показаннями нерухомої стрічки. Експериментально доведено працездатність пристосування.

Для оперативного візуального спостереження за рівнем тиску в лінії високого тиску використовувався штатний датчик тиску, встановлений у гідроаккумулятор (артикул 0281002864) виробництва фірми Bosch.

Паливопідвідні трубопроводи від ПНВТ до акумулятора довжиною 300 ± 2 мм мали зовнішній діаметр 6 мм і внутрішній – 2,5 мм. Від акумулятора до форсунки підходив паливопровід завдовжки 400 мм із зовнішнім діаметром 6 мм, внутрішнім діаметром – 2 мм.

3.2. Обробка даних і оцінка похибок вимірювань

Статистичне опрацювання експериментальних даних проводили на персональному комп'ютері за допомогою стандартних програм спеціалізованого програмного пакета опрацювання сигналів DiaMorph AIC.

Відносну похибку вимірювання циклової подачі палива розраховували за формулою:

$$\Delta = \frac{\Delta g_i}{g_i} = \sqrt{(\Delta T/T)^2 + (\Delta R/R)^2 + (\Delta M/M)^2} * 100\%, \quad (3.1)$$

де $\Delta T/T$ – відносна похибка, пов'язана з таруванням вимірювальної апаратури;

$\Delta R/R$ – відносна похибка, викликана самою апаратурою;

$\Delta M/M$ – відносна похибка, пов'язана з обробленням отриманих результатів.

Похибки обробки результатів викликаються особливостями цього процесу. Значення масиву тарування розташовуються через кожні 0,0025 мм, на проміжку від 0 до 20 мм. Комп'ютер робить вибірку з масиву тарування того елемента, значення якого найближче до вимірюної напруги. Таким чином, максимальна похибка обробки складе:

$$\frac{\Delta M}{M} = \left(\frac{0,0025}{2} * 0,1 \right) * 100\% = 1,25\%.$$

Загальна гранична помилка:

$$\Delta = \sqrt{(2,55)^2 + (0,7)^2 + (1,25)^2} * 100\% = 2,9\%.$$

Середньоквадратичну помилку приймають такою, що дорівнює 1/3 граничної:

$$\delta = \frac{2,9}{3} = 0,98\%.$$

Аналогічним чином було визначено величини абсолютних і відносних помилок визначення інших величин. Результати розрахунків наведено в табл.

3.2.

Таблиця 3.2

Ймовірна абсолютна та відносна похибки вимірювань

Найменування вимірюваної величини	Розмірність	Абсолютна похибка (max)	Відносна похибка, %
Циклова подача палива	мм ³ /цикл	3,48	±2,9
Тиск:			
- палива (до 100 МПа)	МПа	0,01	±0,5
- палива (до 5 МПа)	МПа	0,001	±1,5

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

НУБІП України

4.1 Експериментальне дослідження робочого процесу форсунки при зміні моменту затягування стяжної гайки

В процесі експлуатації відбувається зміна основних показників роботи форсунки, що зі свого боку впливає на техніко-економічні показники роботи двигуна. Статистика показує, що за період експлуатації дизеля малогабаритні форсунки схильні до частих відмов.

Аналіз надходжень на ремонт ПА в 2020-2022 рр. в спеціалізоване підприємство з технічного сервісу дизельної ПА СТО «Автотранспортник» показує, що за період експлуатації дизеля малогабаритні форсунки схильні до частих відмов.

Аналіз відмов малогабаритних форсунок виявив, що найхарактернішими є відмови II групи складності (рис. 4.1), які можна усунути ремонтом або заміною легкодоступних деталей.

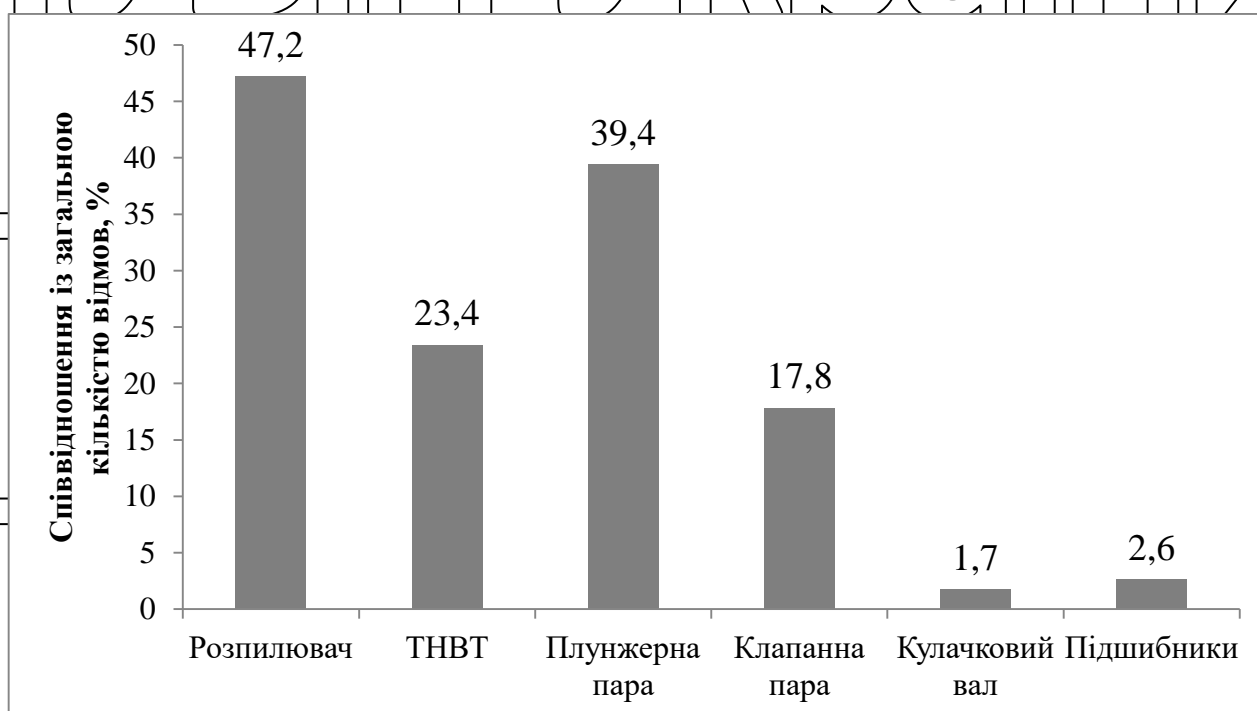


Рис. 4.1. Діаграма відмов прецизійних елементів ПА, відремонтованих в СТО «Автотранспортник» за 2020-2022 р.

Такі відмови в основному зумовлені втратою працездатності прецизійного елемента - розпилювача, відповідно 47,2% від загальної кількості відмов. Часто поломка розпилювачів малогабаритних форсунок відбувається через втрату рухливості голки розпилювача, коксування розпилювальних отворів, низьку гідрощільність прямої частини розпилювача, витіки через запірний конус, погану якість розпилю. З ладу здебільшого виходять розпилювачі вартістю менше ніж 40 % (табл. 4.1) від вартості малогабаритної форсунки.

Таблиця 4.1

Вартість конструктивних елементів форсунки

Найменування	Вартість, грн.
Розпилювач	1500
Гайка	500
Проставка	500
Пружина	150
Корпус	2350
Всього	4500

Співвідношення вартості конструктивних елементів наведено на рис. 4.2.

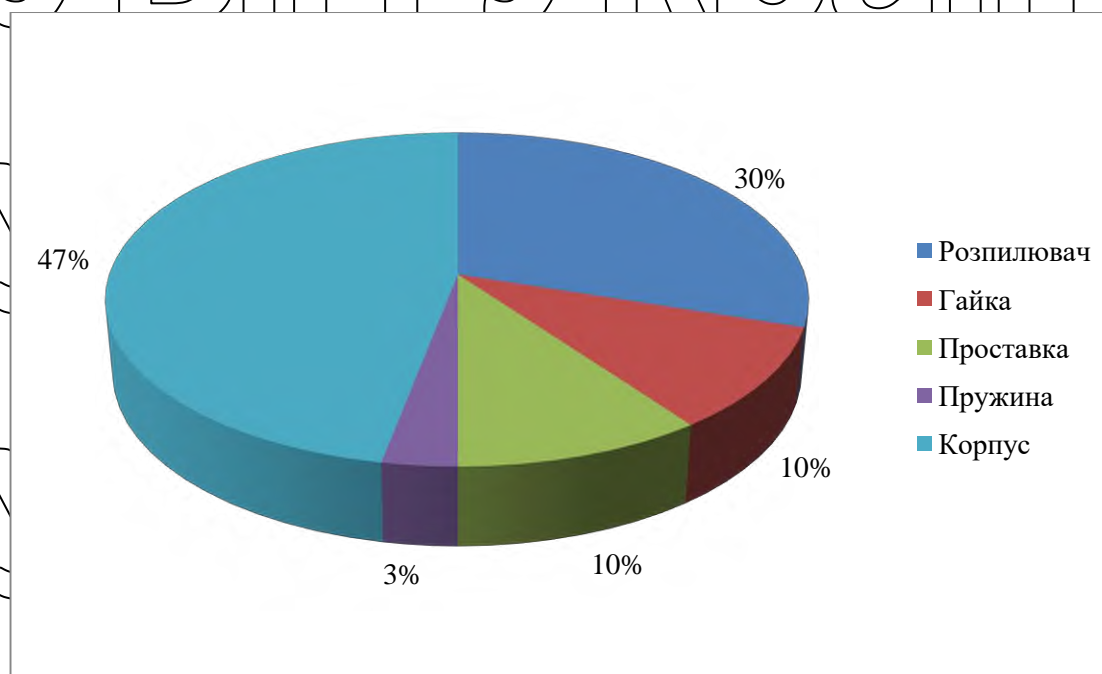


Рис. 4.2. Співвідношення вартості конструктивних елементів малогабаритної форсунки.

Тому ремонт малогабаритних форсунок з метою використання їхнього залишкового ресурсу роботи є більш вигідним, ніж заміна на нові.

Цикл експериментальних досліджень з діагностування закритої форсунки проведено з метою виявлення впливу моменту затягування стягнутої гайки розпилювача форсунки на її роботу, перевірки та уточнення даних, отриманих програмним і чисельним моделюванням.

На першому етапі дослідження було проведено індикування робочого процесу експериментального пристрою та порівняння основних показників роботи дослідного пристрою за фіксованої циклової подачі палива $g_{\text{ц}} = 80 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, що відповідає номінальному режиму. У процесі випробувань змінювалася величина моменту затягування стяжної гайки розпилювача в межах від 20 до 50 Нм.

Після кожної зміни величини моменту затягування і складання форсунки експерименти повторювалися. Однакові вхідні характеристики забезпечувалися пристроєм для ідентичної подачі палива. Можливість електронного керування пристроєм і його швидкодія дали змогу знизити похибку знятих параметрів, що залежать від роботи ПНВТ. З метою виявлення всіх особливостей експериментального пристрою вимірювання проводилися на різних режимах роботи ППС.

Таблиця 4.2

Параметри для вибору режиму роботи ППС

Параметр	Значення														
	20	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Момент затягування стяжної гайки, Нм															
Частота обертання валу насоса, кв^{-1}	300				500				800				1000		
Тривалість сигналу, мкс	800				1200				1600				2000		

Зміна кожного з представлених у табл. 4.2 параметрів відбувалася зі зміною двох інших.

Експериментальна малогабаритна форсунка відрегульована на тиск відкриття / 12 МПа. Експерименти проводилися за постійної температури калібрувальної рідини 20°С.

Величина подачі визначалася за 1000 циклів впорскувань у мензурку. Для відстеження процесів, що відбуваються в ППС, заміряли тиск біля штуцера і біля розпилювача форсунки, переміщення голки, а також шумовий фон під час роботи форсунки.

Показники робочого процесу більш детально можна досліджувати шляхом аналізу діаграм, отриманих у процесі проведення експериментів. Сучасні програмні продукти дають змогу фіксувати процеси, що відбуваються в циліндрі двигуна, в режимі реального часу і зберігати дані для подальшого опрацювання.

4.2 Вплив параметрів складання форсунки на якість розпилювання палива

Для з'ясування впливу моменту затягування стяжної гайки на якість розпилювання пального було проведено експерименти з фіксування розпиленого струменя відеокамерою. На рис. 4.3 представлено фотографії попередніх експериментів.

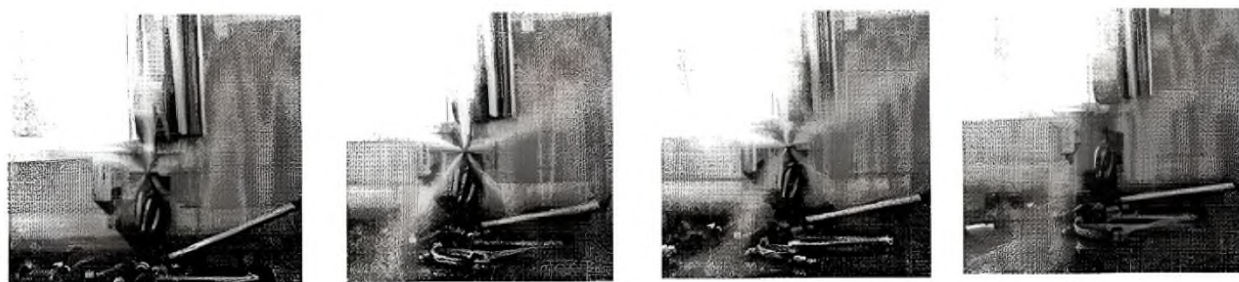


Рис. 4.3. Фотографія розпорощення струмені палива.

Експериментальна форсунка була приведена в горизонтальне положення для забезпечення кращої видимості. Подача каліва здійснювалася стендом з ручним приводом EPS-100. Надалі здійснювалася обробка отриманих

відеофайлів, їх розгортка і розкадрування. Недоліком методу стала недостатня швидкість зйомки і якість одержуваних кадрів.

Високошвидкісні камери позбавлені вищевказаних недоліків і дозволяють фіксувати нетривалі процеси. Під час експериментів використовувалася швидкісна камера Pulnix TM-6740GE.

Швидкісну камеру встановили на відстані 3 мм від форсунки. Необхідна якість підсвічування забезпечувалася фоновим прожектором, спрямованим у точку фокусу відеокамери. Таким чином, форсунка розташувалася між швидкісною камерою і відеокамерою. Регулювання світлового потоку, необхідного для просвічування розпиленого струменя, здійснювалося кнопкою на прожекторі. Налаштування та управління відеокамерою здійснювалося за допомогою програм Coyote і Dual Tap AccuPiXEL.

На нижченаведених рисунках представлено інтерфейс програми Dual Tap AccuPiXEL.

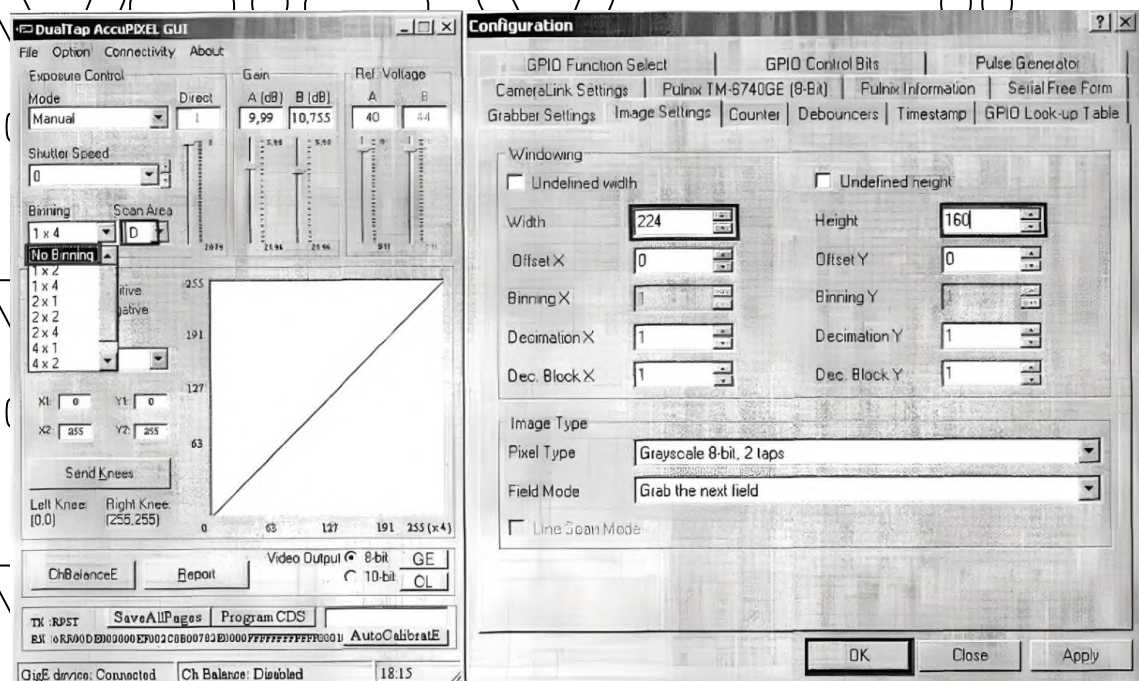


Рис. 4.4. Налаштування параметрів роботи швидкісної камери.

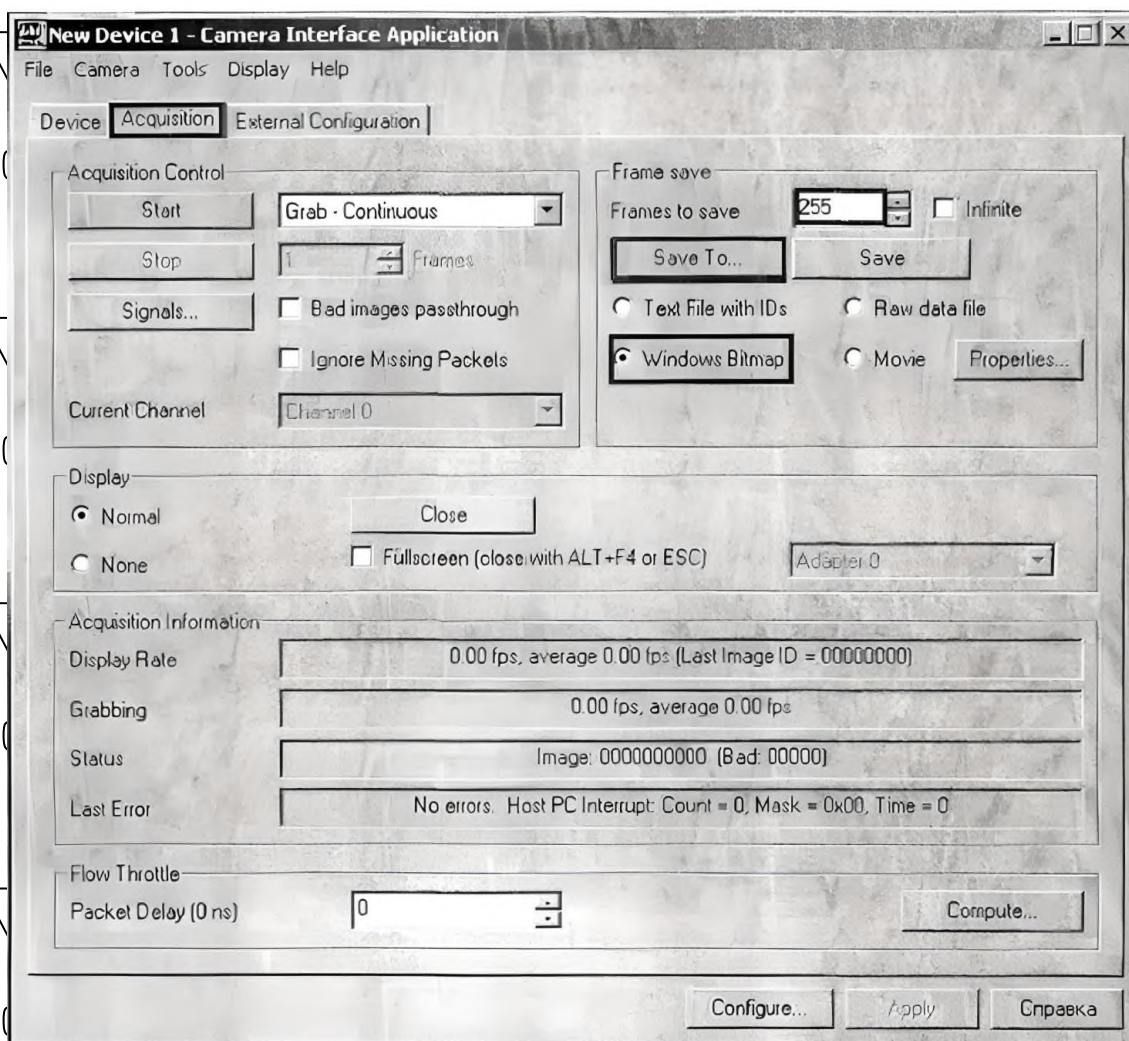


Рис. 4.5. Робоче вікно програми Coyote.

Зв'язок із камерою здійснюється через TCP-порт комп'ютера. Під час під'єднання задали час опитування, параметри екрана, вибрали тип зображення і роздільну здатність. Збільшення роздільної здатності призводить до зниження якості кадрів, тому вибрали оптимальну роздільну здатність 224 мм x 160 мм.

Зображення виводилися на екран у чорно-білому форматі.

Можливий режим безперервного передавання даних і збереження інформації у форматі відеофайлу з метою подальшої покадрової розгортки. Для забезпечення покадрової зйомки задали кількість кадрів 255, інформацію зберігали у вигляді рисунків.

З покадрової розгортки зйомки процесу впорскування видно, що характер розпаду струменів зі збільшенням моменту затягування стяжної гайки розпилювача змінюється (рис. 4.6).

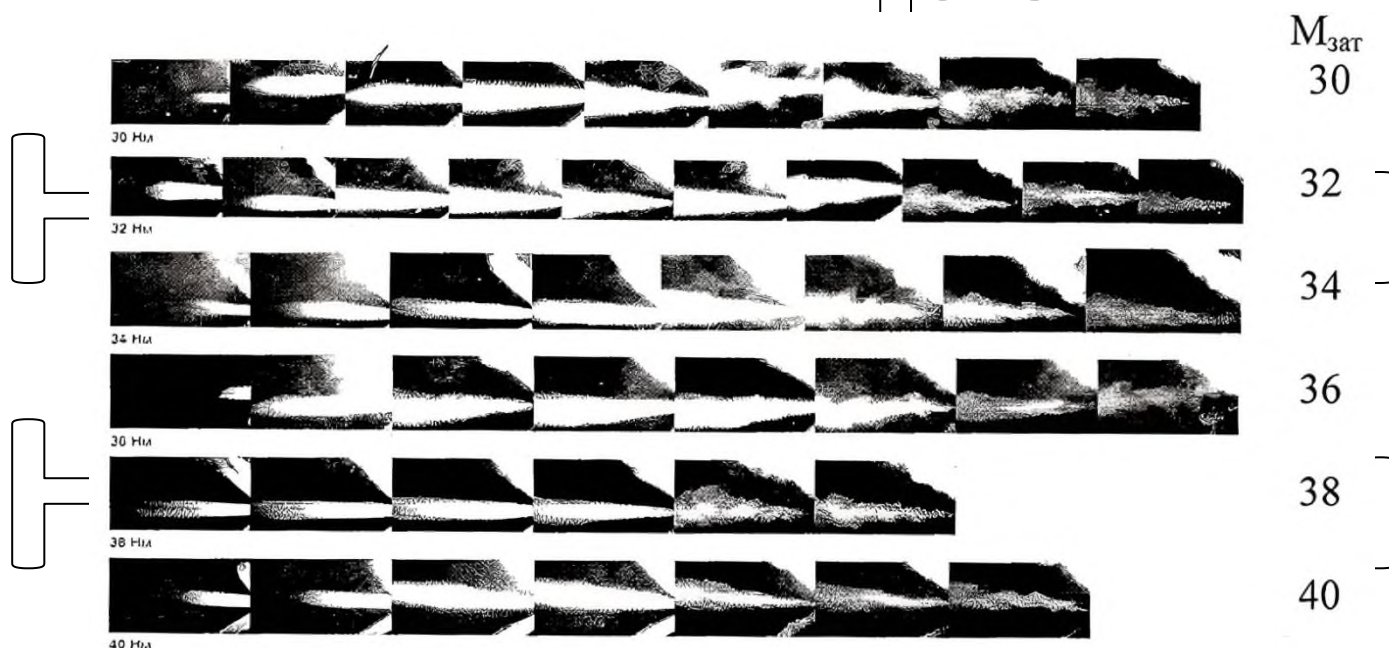


Рис. 4.6. Покадрова розгортка процесу впорскування палива за різних значень моменту затягування стяжної гайки.

При малому значенні моменту затяжки тіло струменя більш об'ємне, що говорить про краще розщеплення струменя. Зі збільшенням моменту затягування стягнутої гайки розпилювача спостерігається звуження тіла струменя, а концентрація розпиленого палива або густина струменя збільшується, особливо явно наприкінці процесу впорскування, що є несприятливим фактором під час роботи форсунки. Наявність цих змін пов'язана але з характером переміщення голки розпилювача.

Більш детально ці зміни можна побачити під час поєднання основних показників роботи форсунки на одному графіку, рис. 4.7.

НУБІП України

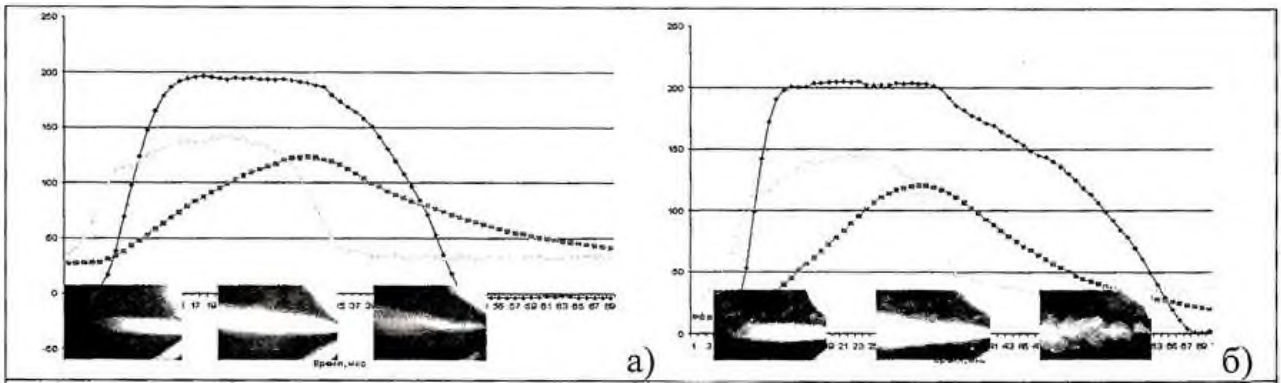


Рис. 4.7. Зміна показників роботи форсунки Bosch марки KVBL (диференціальної характеристики впорскування, тиску біля штуцера, ходу голки і форми факела розпилювання) за моменту затягування 32 НМ (а) 38 НМ (б).

З рисунку 4.7. видно, що за значення моменту затягування стяжної гайки 32 Нм "брязкіт" добре виражений, розпилювальний струмінь добре розщеплюється, залишковий тиск у трубопроводі максимальний.

Зі збільшенням моменту затягування до 38 Нм вихідні показники змінилися: швидкість посадки голки і залишковий тиск знизилися, знизився шумовий фон. Таким чином, збільшення моменту затяжки призвело до погіршення якості розщеплення струменя.

На рисунках 4.8-4.10 (Додатки А-В) наведені діаграми шумового фону під час роботи форсунки, отримані за допомогою мініатюрного мікрофону МКЕ-3. Криві характеризують процес руху голки, впорскування палива і роботи форсунки.

Таким чином, уперше було зафіксовано параметр оцінки "брязкіт". Аналіз діаграм виявив, що зі збільшенням моменту затягування стягнутої гайки характер "брязкоту" зазнає змін, які проявляються в зменшенні амплітуди коливань. Так, рівень шуму за моменту затягування 40 Нм знизився на 30 дБ порівняно з рівнем шуму за 30 Нм. Це зниження пов'язане зі зниженням швидкості посадки голки розпилювача форсунки.

В результаті дослідження було побудовано графіки зміни циклової подачі та швидкості руху голки розпилювача залежно від моменту затягування на номінальному режимі роботи (рис. 4.11).

Експерименти виявили зміну циклової подачі під час збільшення моменту затягування до 40 Нм на 5-8% порівняно з даними, отриманими за 34 Нм.

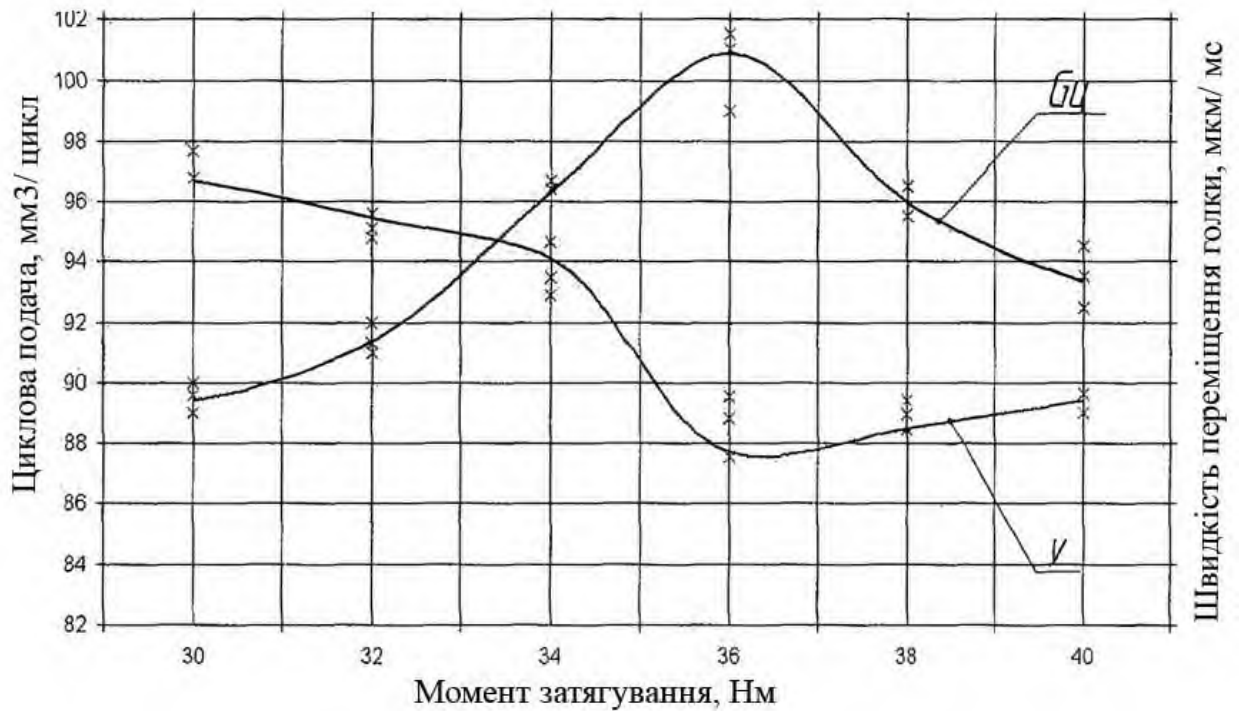


Рис. 4.11. Графік залежності циклової подачі палива від величини моменту затягування стяжкою гайки розпилювача форсунки

Аналіз отриманих результатів дозволив розробити методику оцінки якості роботи малогабаритної форсунки після ремонту з використанням характеристики впорскування. Це єдиний метод перевірити відповідність параметрів роботи форсунки вихідним значенням. Відповідно до експериментальних даних, для форсунки марки KBEF рекомендується загорнути стяжну гайку розпилювача із зусиллям в інтервалі 30...34 Нм.

4.3 Висновки по розділу

НУБІП України

Таким чином, за результатами експериментів можна зробити такі висновки:

– виконані експерименти дозволили встановити прямий вплив значення моменту затягування стяжної гайки на рухливість голки розпилювача;

НУБІП України

– характер руху голки визначає якість розпилювання струменя, величину залишкового тиску в трубопроводі (момент початку впорскування), величину циклової подачі та характеристику впорскування загалом.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

НУБІП України

5.1 Аналіз умов праці і виробнича санітарія

В процесі діагностування виникають наступні шкідливі виробничі фактори:

– підвищена загазованість приміщення відпрацьованими газами автомобілів;

– підвищений рівень шуму;

– випари палива;

– метеоумови, які не відповідають допустимим;

– недостатнє або нерациональне освітлення та інші.

До небезпечних виробничих факторів відносяться:

– падіння в оглядову канаву робітників;

– наїзд автомобіля;

– небезпека ураження людини електричним струмом напругою 220/330 В;

– використання несправного інструменту;

– заїзд автомобіля в оглядову канаву;

– гострі кромки ріжучого інструменту;

– опіки від розігрітих частин автомобіля.

До психофізіологічних факторів відносяться:

– незадовільний психологічний клімат в колективі;

– незадоволеність працею;

– можливий стан алкогольного сп'яніння.

Метеорологічні умови (мікроклімат) виробничих приміщень визначається діючими на організм людини сукупністю температури, вологості та швидкості руху повітря, а також температури оточуючих поверхонь.

В приміщенні діагностичної дільниці метеорологічні умови залежать від технологічного процесу та від зовнішніх погодних умов. Нормальні метеорологічні умови в приміщенні дільниці забезпечуються раціональною

вентиляцією і опаленням на рівні допустимих значень температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря.

Нормативні параметри мікроклімату на дільниці опромінюванні до 25% поверхні тіла.

Таблиця 5.1

Показники мікроклімату в дільниці

Категорія робіт	Період року	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с		
		Оп-тим	Допустима на постійних робочих місцях		Оп-тим	Допустима на постійних робочих місцях	Оп-тим	Допустима на постійних робочих місцях
			Верхня межа	Нижня межа				
Середньої важкості Пб	холодний	15-18	21	15	55-70	75	0,1-0,3	не > 0,4
	теплий	20-25	27	16	50-65	прим.1	0,2-0,4	0,2-0,5

Інтенсивність теплового випромінювання не повинна перевищувати 100 Вт/м^2 при опромінюванні до 25% поверхні тіла.

Шкідливі речовини на дільниці виділяють ДВЗ в складі відпрацьованих газів, агрегати при роботі автомобіля при їх негерметичності та шини автомобіля при визначені тягово-економічних показників.

Шкідливі речовини, які виділяються на дільниці показані в табл.5.2. Це в основному речовини, які містяться в відпрацьованих газах двигунів.

Таблиця 5.2

Шкідливі речовини та ГДК

Назва речовини	Величина ГДК, мг/м ³	Агрегатний стан	Клас небезпеки	Особливість дії на організм
1	2	3	4	5
Акролейн	0,2	П	II	О
Азоту окис (NO ₂)	0,5	П	III	О
Бензапирен	0,0001	П	I	К

Продовження таблиці 5.2.

	1	2	3	4	5
Бензин паливний		100	II	IV	
Дизпаливо		300	II	IV	
Газ		300	II	IV	
Окис вуглецю (CO)		20	II	IV	0
Масла мінеральні		5	A	III	
Свинець й сполуки		0,01/0,005	A	I	
Пил мінеральний		6	A	III	Ф
Тетраетилсвинець		0,005	II	I	0

Для захисту від шкідливих речовин, які знаходяться в повітрі робочої зони

діагностування застосовують такі заходи:

1) обладнання приміщення дільниці загально-обмінною припливно-втяжною механічною вентиляцією;

2) обладнання постів діагностування автомобілів місцевими відсмоктувачами відпрацьованих газів;

3) спеціальна підготовка та інструктаж обслуговуючого персоналу;

4) своєчасний якісний ремонт вентиляційного обладнання;

5) регулярне прибирання приміщення;

6) застосування засобів індивідуального захисту працюючих (спецодяг, захисні окуляри, тощо);

7) попереджувальні та періодичні медичні огляди, профілактичне харчування і дотримання правил особистої гігієни.

Система опалення забезпечує рівномірне нагрівання повітря в зоні, можливість місцевого регулювання і вимикання, зручність в експлуатації, а також доступ при ремонті.

Чергове опалення забезпечує підтримку температури повітря в зоні в неробочий час не нижче $+5^{\circ}\text{C}$. Відновлення нормованої температури забезпечується системою основного опалення до початку роботи.

Температура припливного повітря, яке подається в оглядову канаву в холодний період року знаходиться на рівні $+16^{\circ}\text{C}$ і не вище 25°C .

Вхідні двері зони мають справний механічний пристрій примусового закриття. Аварійна вентиляція в зоні діагностики забезпечує кратність повітрообміну загальнообмінної вентиляції.

Викиди в атмосферу із системи вентиляції розташовані на відстані від приймальних пристроїв для зовнішнього повітря більше 10 м. по горизонталі, викиди із системи місцевого відсмоктувача розташовані на висоті більше 2 м. над найвищою точкою покрівлі.

Оглядова канава не забезпечується достатньою кількістю повітря, тому необхідно забезпечити надходження необхідної кількості повітря за допомогою припливної вентиляції.

Припливна вентиляція в оглядових канавах організовується з подачею повітря з розрахунку $125 \text{ м}^3/\text{год}$ на 1 м^3 канави. подача повітря здійснюється з швидкістю $2 - 2,5 \text{ м/с}$.

5.2. Освітлення, вібрації та шум

Для освітлення діагностичної дільниці застосовується штучне освітлення газорозрядними лампами, які забезпечують освітленість на автомобілі в 150 лк.

Природне освітлення не застосовується. Штучне освітлення в дільниці забезпечується в достатній мірі для безпечного виконання робіт, перебування і переміщення людей. Забезпечувати освітленість необхідно згідно з нормами.

Таблиця 5.3

Освітлення в приміщенні дільниці діагностики

N п/п	Місце виміру, площа нормування освітленості	Розряд зорової роботи	Нормована
1	Оглядова канава, Г – низ автомобіля	VI	150
2	Приміщення дільниці. В – на автомобілі	V	200

В приміщенні дільниці забезпечується необхідний рівень освітленості робочих поверхонь.

Джерела шуму та вібрації являються автомобілі, які рухаються по дільниці, працюючі ДВЗ та інші агрегати автомобілі, компресори, вентиляційні системи.

Шум та вібрація погіршують мови праці, викликають шкідливу дію на організм людини, сприяють виникненню травматизму й приводять до зниження якості обслуговування автомобілів, тому необхідно приділяти належну увагу до контролю рівня шуму та вібрації на дільниці й захисту від їх шкідливої дії.

Допустимі значення вібрацій вказані в таблиці 5.4, шуму – 5.5.

Таблиця 5.4
Допустимі значення вібрацій

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Значення	Нормативні коректовані по частоті та еквівалентні коректовані значення			
				Вібро-прискорення		Вібро-швидкість	
				a_n , м/с ²	L_{an} , дБ	$V_n \cdot 10^{-2}$, м/с	L_{vn} , дБ
Локальна	-	X_L, Y_L, Z_L	Нормативне	2,0	126	2,0	112
Загальна	3 тип «а»	X_O, Y_O, Z_O	Нормативне	0,10	100	0,20	92

Таблиця 5.5
Допустимі значення шуму

Значення	Рівні звукового тиску, дБ, і активні полоси, з середньо-геометричними частотами, Гц								Рівні звука і еквівалентність рівня звука, дБА	
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000		8000
Нормативні	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

На дільниці рівні шуму та вібрації знаходяться в допустимих межах і загрозу здоров'я працюючих не створюють, це було досягнуто такими заходами:

– в якості акустичних засобів захисту від шуму були застосовані звукопоглинальне облицювання та малозумні технологічні процеси:

– в якості засобів захисту необхідно проводити організаційні заходи, які включають контроль за монтажем обладнання, правильною експлуатацією, своєчасним і якісним плановим попереджувальним обслуговуванням і ремонтом.

5.3. Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

Технічний стан автомобіля та його агрегатів необхідно перевіряти в основному при непрацюючому двигуні та загальмованих колесах, за винятком перевірки тягово-динамічних характеристик автомобіля на стенді, перевірки роботи систем живлення та запалення, а також при прослуховуванні працюючих агрегатів автомобіля.

При огляді допускається користуватися переносною лампою з запобіжною сіткою та напругою не вище 42 В, при роботі в оглядові каналі напруга не повинна перевищувати 12 В.

Регулювати системи та агрегати необхідно при непрацюючому двигуні (окрім регулювання системи живлення та запалення).

Робоче місце діагностика-оператора обладнано регульованим по висоті стільцем який обертається. Пост діагностики обладнаний ефективним відсмоктувачем для видалення відпрацьованих газів.

Конструкція устаткування і його окремих частин повинна виключати можливість їх падіння, опускання, перекидання та довільного зміщення при всіх передбачених умовах експлуатації.

Пристрої для зупинки та пуску устаткування повинні розміщуватись так, щоб ними можна було зручно користуватися з робочого місця та виключалась можливість самовільного їх включення і створення небезпечних ситуацій через порушення працюючими послідовності дій на органи керування.

Поверхні пристроїв і елементів виробничого устаткування, що можуть служити джерелом небезпеки для працюючих, повинні фарбуватися згідно галузевих нормативних документів.

Усі контрольно-вимірювальні прилади необхідно утримувати у справному стані, періодично перевіряти. Забороняється використовувати прилади з простроченим терміном перевірки.

Вибракування інструменту, пристроїв проводиться у відповідності з установленим графіком, але не рідше одного разу на 3 місяці.

5.4. Електро- та пожежна безпека

Діагностична дільниця відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом (струмопровідні підлоги).

Для захисту людей від небезпеки ураження електричним струмом використані такі технічні засоби захисту: виконане занулення корпусів електричних машин, електричних апаратів, освітлювачів, каркасів розподільчих щитів, щитів керування, металевих кабельних конструкцій; блокування рубильника, пусканів електроприладів.

Дільниця відноситься до приміщення категорії В по пожежній небезпеці згідно СНиП 11-90-81 «Производственные здания промышленных предприятий» (речовини здатні при взаємодії з водою, повітрям або один з одним лише горіти).

З метою попередження виникнення пожеж в зоні діагностики передбачено:

- 1) заборона застосування відкритого вогню;
- 2) виконання робіт без порушення технологічного режиму діагностування;
- 3) застосування в електромережах 220/380В струмового захисту з плавкими вставками;

4) прокладання електропроводки у металевих трубах і гнучких металевих рукавах;

- 5) своєчасне очищення підлоги від розлитих горючих речовин;

6) щозмінне спорожнення металевих ящиків від промасленого ганчір'я;

7) заборона паління на робочих місцях;

8) установка тросового блекавкозахисту III категорії на території підприємства.

Зона діагностики оснащена засобами гасіння пожежі: один вогнегасник ОХП-Ю, один ОП-5 та ящик з піском об'ємом 0,5 м³.

Табличка на дверях при вході в зону діагностики інформує про категорію пожежної небезпеки зони.

Приміщення зони діагностики знаходиться в будівлі I ступеня вогнестійкості. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій згідно СНП 2.01.02-85.

5.5. Вимоги техніки безпеки при експлуатації стенду

До роботи з паливною апаратурою допускаються особи не молодше 18 років які пройшли відповідне навчання, інструктаж і перевірку знань вимог безпеки з оформленням у спеціальному журналі та мають кваліфікаційне посвідчення.

При надходженні на роботу слюсар з паливної апаратури проходить попередній медичний огляд, який потім періодично повторюється. Слюсарну кваліфікаційну групу по техніці безпеки не нижче третій.

Користуватися стендами строго за його призначенням відповідно до технологічного процесу технічного обслуговування і ремонту автомобілів.

При діагностуванні автомобіля забороняється:

- працювати на несправному діагностичному стенді;
- розливати і розбризкувати паливо при підключенні приладу;

Використані обтиральні матеріали зберігають в металевих ящиках з щільними кришками, а після закінчення робочого дня видаляють в безпечне в пожежному відношенні місце.

При роботах з паливною апаратурою необхідно дотримуватися таких вимог:

– знімати наливо, що потрапило на шкіру, а по закінченню роботи ретельно мити руки, обличчя і шию теплою водою з милом;

– не носити одяг, просочений нафтопродуктами;

– деталі мити у ванні тільки волосяними щітками, пензлями і йоржами.

При цьому працюючий повинен використовувати фартух з маслобензостійкого матеріалу;

– пошкодження на шкірі необхідно промивати 3% розчином борної кислоти і забинтовувати;

– для захисту рук від впливу нафтопродуктів покривати їх спеціальними захисними засобами.

У приміщенні для робіт з паливною апаратурою забороняється палити і перебувати стороннім особам.

5.6 Вимоги до інструменту

При виконанні слюсарних робіт працюючий повинен звертати особливу увагу на зміст в порядку робочого місця та інструменту. Ручні інструменти (молотки, зубила, пробійники і т. д.) повинні відповідати наступним вимогам:

– робочі кінці - не мати пошкоджень (вибоїн, відколів);

– бічні грані в місцях затискання їх рукою – не мати задирок, задирів і гострих ребер;

– потилична частина ударних інструментів – бути гладкою, не мати тріщин, задирок і відколів;

– молотки і кувалди - бути надійно насаджені, а поверхня ручок – бути гладкою, без задирок і тріщин.

Забороняється користуватися напилком, стамескою і іншими інструментами із загостреною неробочою частиною, з погано укріпленою

дерев'яною ручкою, а також з несправною ручкою або без металевого кільця на ній.

Ключі повинні відповідати розмірам болтів і гайок і мати паралельні, незношені губки. Забороняється відкручування гайок ключами великих розмірів і підкладенням металевих пластинок між гранями гайки і ключа, а також подовження воротка ключа шляхом приєднання іншого ключа або труби.

5.7. Висновки і пропозиції

Відповідно до вищеписаних вимог по техніці безпеки і охорони праці на підприємстві мають бути створені здорові і безпечні умови праці, забезпечення яких - прямий обов'язок керівництва.

У зв'язку з цим керівництво зобов'язане впроваджувати сучасні засоби техніки безпеки, що попереджають виробничий травматизм, і забезпечують санітарно-гігієнічні умови, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників.

Відповідно до законодавства, ремонтне підприємство несе матеріальну відповідальність за збитки, завдані працівникам каліцтва або іншим ушкодженням здоров'я, пов'язаним з використанням ними своїх трудових обов'язків.

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1. Обґрунтування методики ремонту малогабаритних форсунок

Економічна ефективність впровадження результатів дослідження складається зі зниження вартості технічного сервісу за рахунок скорочення часу на діагностування інжекторів, поліпшення експлуатаційних та екологічних параметрів роботи дизеля, що виражається у збільшенні виробітку сільськогосподарських машин, ресурсу їхнього двигуна та ПА, зокрема, зниженні витрат пально-мастильних матеріалів, дотриманні екологічних показників дизеля.

Статистика показує, що за період експлуатації дизеля малогабаритні форсунки схильні до частих відмов. Виявлено, що з ладу здебільшого виходять розпилювачі вартістю менше ніж 40 % від вартості малогабаритної форсунки. Дефектація розпилювачів перед ремонтом показала наявність таких несправностей:

- втрата рухливості голки розпилювача (57,2%);
- закоксування розпилювальних отворів (63,5%);
- низька гідроциліндрність прямої частини розпилювача (6,1%);
- витіки через запірний конус (20,4%);
- погана якість розлилу (39,5%).

У деяких форсунок спостерігалось дві або більше несправностей.

У 2021-2022 рр. для забезпечення безвідмовної роботи сільськогосподарської техніки в процесі її технічного обслуговування проводилося дослідження до- і післяремонтного стану форсунок автотракторних дизелів. Діагностування форсунок комбайнів проводили після їхнього ТО, заміни розпилювача і складання.

Для практичного використання розробленого пристосування як інструменту для складання форсунок автотракторних дизелів необхідно розробити відповідну методику. Розв'язання поставленого завдання було

виконано на основі аналізу циклової подачі, отриманої під час експериментальних досліджень малогабаритної форсунки Bosch марки KBEL, графік якої наведено на рис.6.1.

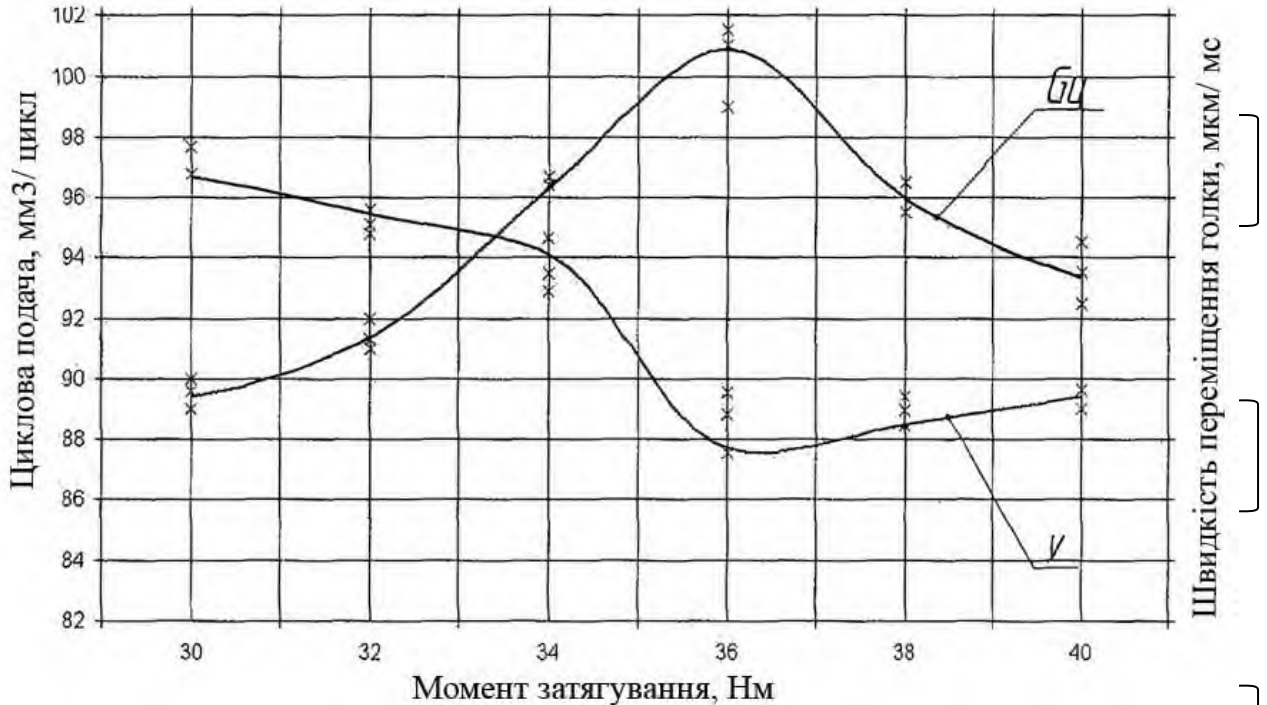


Рис. 6.1. Графік залежності циклової подачі палива від величини моменту затягування стяжкою гайки розпилювача форсунки.

Перевірка форсунок проводиться за представленою заводом виробником методикою на основі значень циклових подач, отриманих на різних режимах. Кількісне значення циклової подачі порівнюється з кривою циклової подачі на рис. 6.1. У разі, якщо параметр лежить поза зоною допустимих відхилень у бік збільшення або зменшення, за графіком визначається конкретне значення моменту затягування стяжної гайки для приведення форсунки в оптимальний робочий стан. При цьому застосування розробленого пристрою для складання форсунок автотракторних дизелів має низку переваг. Так, з'являється можливість докручувати стяжну гайку форсунки на заданий кут із необхідним моментом після досягнення певного значення граничного крутного моменту, що відповідає вимогам виробників до складання форсунок. Виявлено, що застосування нової

технології ремонту форсунки дає змогу підвищити якість ремонту і, таким чином, знизити рівень післяремонтного браку.

Таким чином, впровадження розробленої методики ремонту дало змогу істотно скоротити час і виключити серйозні відмови форсунок у період експлуатації 2022 року, відремонтувати більшу кількість форсунок.

6.2. Оцінка економічного ефекту при впровадженні запропонованої

методики

Для розрахунку економічної ефективності впровадження результатів досліджень у СТО «Автотранспортник» було проведено хронометраж процесу ремонту (табл. 6.1.) форсунки Bosch марки KBEL за допомогою розробленого пристрою.

Хронометраж ремонту однієї форсунки за допомогою пристосування для складання форсунок автотракторних дизелів за розробленою технологією ремонту показав, що весь процес визначення працездатності та виявлення конкретної несправності форсунки скорочується до 20 хвилин.

Таблиця 6.1
Технологія ремонту форсунки

№	Контрольно-діагностична операція	Трудомісткість, люд.-год.	Необхідний інструмент	Вказівки, технічні вимоги
1	2	3	4	5
1	Загвинчування стяжної гайки	0,04	Пристрій для збірки форсунок	Загвинтити гайку в 4 етапи: попереднє затягування, ослаблення, накладення і остаточне затягування

Продовження таб.6.1

2	Встановити форсунку в пристрій для визначення циклової подачі	0,015	Гайковий ключ 17-19	Встановити форсунку в приймальний штуцер пристрою і зафіксувати кронштейном
3	Приєднати паливопровід високого тиску до форсунки	0,007	Гайковий ключ 17-19	Неприпустимі підтікання палива
4	Випробування форсунки	0,15	-	Провести випробування відповідно до вимог заводів-виробників
5	Аналіз отриманих даних	0,03	-	Аналіз і діагноз стану форсунки проводиться за допомогою даних таблиць несправностей. Діагноз зберігається в базі даних ПК і відправляється на друк
6	Демонтувати форсунку	0,03	-	Операції проводити у зворотному порядку пунктів 6, 5, 4.
7	Загвинчування стяжної гайки	0,04	Пристрій для збірки форсунок	Повторити пункт 1
	Загалом	0,312		

Порівняно з технологією Bosch і Hartridge загальна трудомісткість ремонту малогабаритних форсунок скорочується (табл. 6.2) до 1,3 год.-год.

Завдяки зниженню трудомісткості процесу діагностування з'явилася можливість додатково відремонтувати протягом року 1125 форсунок, що принесло підприємству СТО «Автотранспортник» прибуток у розмірі 61 тис.

грн.

Таблиця 6.2

Параметр	Стенди		
	Bosch	Hartridge	Розробка
Трудовіткість, люд.-год.:			
- ремонт	1	1	1
- післяремонтне діагностування	0,3	0,3	0,23
- повторний ремонт	0,7	0,7	0,04
- загальна	2	2	1,27
Обсяг ремонту, шт. в рік	2100	3000	5000
Загальна сума, тис. грн.	32,0	45,0	61,0

Технічно-економічний аналіз стану ремонтних баз, досвід експлуатації та ремонту паливної апаратури дизелів показує, що забезпечення якісного ремонту і ТО складних вітчизняних і зарубіжних паливоподавальних систем із наданням гарантії може здійснюватися тільки на спеціалізованому підприємстві з технічного сервісу ПА, в оснащенні якого є сучасні засоби діагностування ПА.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

НУБІП України

1. Шляхом комплексного аналізу показників якості роботи сучасних малогабаритних форсунок встановлено, що одним із найбільш значущих чинників, які піддаються зміні під час ремонтного впливу на форсунку, є величина моменту затягування стяжної гайки розпилювача форсунки.

НУБІП України

2. Виявлені теоретичні залежності дали змогу встановити вплив моменту затягування стягнутої гайки розпилювача на циклову подачу і початок впорскування. Для експериментальної форсунки марки KBEL зазначені параметри до величини 34 Нм визначаються збільшенням витоків через зазори, а надалі зміною залишкового тиску через зниження швидкості посадки голки.

НУБІП України

3. Запропоновано методику оцінки якості роботи форсунки після ремонту, засновану на аналізі її характеристики впорскування. Відповідно до експериментальних даних, для форсунки марки KBEL рекомендується загортати стяжну гайку розпилювача із зусиллям в інтервалі 30...34 Нм.

НУБІП України

4. Розроблено пристосування для збирання форсунок автотракторних дизелів з можливістю подальшого докручування стяжної гайки форсунки на заданий кут після досягнення контрольного моменту.

НУБІП України

4. Виявлено високу ефективність застосування розроблених методу і пристрою. Річний економічний ефект від упроваджених нових технологічних прийомів ремонту форсунок автотракторних дизелів у спеціалізованій СТО становив близько 60 тис. грн. за програми ремонту 5000 форсунок.

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Анализ технического уровня ДВС. Под ред. Давтяна Р.И. / М.: Информцентр - НИИД, 2002. - №41 -117 с.

2. Аллилуев В.А., Ананьин А.Д., Михлин В.М. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка. - М.: Агропромиздат, 1991. - 367 с.

3. Андрусенко П.И., Антонюк С.Д., Мерзиевский В.В. Об оптимальных фазах топливоподачи транспортного дизеля автотракторного типа и путях их реализации // Конструирование, исследование и эксплуатация топливоподающих систем автотракторных дизелей: Сборник. - Ульяновск: Изд-во УСХИ, 1976. - с. 16-22.

4. Антипов В.В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристик топливной аппаратуры дизелей. - М.: Машиностроение, - 1965. - 131 с.

5. Астахов И.В. Динамика процесса впрыска топлива в быстроходных дизелях, 1948. - 91 с.

6. Астахов И.В., Голубков Л.Н., Трусов В.И., Хачиян А.С., Рябикин Л. Топливные системы и экономичность дизелей. М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.

7. Астахов И.В., Трусов В.И., Хачиян А.С. и др. Под ред. Астахова И.В. Подача и распыливание в дизелях. - М.: Машиностроение, 1979. - 359 с.

8. Баширов Р.М. Основные показатели работы топливных систем автотракторных дизелей. - Ульяновск.: Ульяновский СХИ, 1978. - 85с.

9. Баширов Р.М. Топливные системы автотракторных и комбайновых дизелей, конструктивные особенности и показатели работы. - Уфа, изд-во БГАУ, 2001. - 156 с.

10. Бахтияров Н.И. Восстановление прецизионных поверхностей у деталей топливной аппаратуры // Техника в сельском хозяйстве. - 1980. - №8. - с. 45-47

11. Бойко Ю.Ф., Кованских А.М., Фаворов В.И. дальнейшие направления совершенствования системы технического обслуживания тракторных дизелей. Труды ИПО ЦНИТА. - Д., 1989. - с. 122-127

12. Бударин В.А. Методы расчета движения жидкости. - Одесса, Астропринт, 2006. - 138 с.

13. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки экспериментальных данных / М.: Колос, 1973. - 199.

14. Вельских В.И. Диагностирование и обслуживание сельскохозяйственной техники. - М.: Колос - 1980. - 575 с.

15. Вихерт М.М., Мазинг М.В. Топливная аппаратура автомобильных двигателей: конструкции и параметры. М.: Машиностроение, 1976. - 176 с.

16. Власов П.А. Особенности эксплуатации дизельной топливной аппаратуры / М.: Агропромиздат, 1987. - 127 с.

17. Габбасов А.Г. Улучшение показателей тракторного дизеля совершенствованием топливоподачи и смесеобразования. - Дисс. канд. техн. наук. - Уфа, 2005. - 132 с.

18. Габитов И.И. Обеспечение надежности топливной аппаратуры дизелей сельскохозяйственного назначения в процессе ее эксплуатации / СПб.: СПбГАУ, 2000. - 317 с.

19. Габитов И.И. Оценка неравномерности подачи топливных систем тракторных дизелей. - Дисс. канд. техн. наук. - Уфа, 1993. - 175 с.

20. Габитов И.И. Особенности конструкции и надежность топливной аппаратуры зарубежных дизелей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и СХМ, - № 2001. - №2.

21. Габитов И.И. Улучшение эксплуатационных показателей топливной аппаратуры сельскохозяйственных дизелей путем научного обоснования и реализации в ремонтном производстве технологических процессов, методов и средств диагностирования. - Дисс. докт. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2001. - 322 с.

22. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей: М.: Легион-Автодата, 2008. - 248 с.

23. Габитов И.И., Неговора А.В. Совершенствование технического сервиса топливной аппаратуры / Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС. Мат. VIII м/нар. н-практ. конф., Владимир: Изд-во ВлГУ, 2001. - с.253-256.

24. Габитов И.И., Неговора А.В. Исследование электрогидроуправляемой форсунки аккумуляторной топливной системы / Уфа: Вестник Башкирского ГАУ, 2003 -№3 -с. 7-12.

25. Габитов И.И., Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных двигателей / Учебное пособие для студентов ВУЗов по спец-тям 311300 и 311900. Уфа: Изд-во БГАУ, 2004, - 172 с.

26. Гафуров М.Д. Улучшение характеристик впрыскивания топливоподающей системы тракторного дизеля путем разработки и применения электрогидроуправляемой форсунки. - Дисс. канд. техн. наук. - Уфа, 2001. - 121

с.

27. ГОСТ 18569-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний / М.:Изд-во стандартов, 1988. -70 с.

28. ГОСТ 8670-82 Насосы топливные высокого давления автотракторных дизелей / М.:Изд-во стандартов, 1982. - 5 с.

29. ГОСТ 8669-82. Форсунки автотракторных дизелей. Правила приемки и методы испытаний.

30. ГОСТ 8770-82. Насосы топливные высокого давления. Правила приемки и методы испытаний.

31. ГОСТ СТ СЭВ 2406-80. Распылители форсунок дизельных автотракторных двигателей. Технические требования и методы испытаний.

32. ГОСТ 10579-82. Форсунки дизелей. Общие технические условия.

33. ГОСТ 25708-83. Прецизионные пары топливной аппаратуры дизелей.

Общие технические условия.

34. ГОСТ 23.1.450-84. Прецизионные пары топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей. Распылители. Плунжерные пары. Технические требования. Методы контроля.

35. ГОСТ 24.161.01-82. Распылители форсунок дизелей. Технические требования. Правила приемки и методы испытания.

36. РТМ 70.0001.029-80. Техническое обслуживание форсунок дизельных двигателей. М - 1980.

37. Грехов Л.В. Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common Rail. - М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 64 с.

38. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. - М.: Легион-Автодата, 2004. - 344 с.

39. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. - М.: Легион-Авто дата, 2005. - 348 с.

40. Губертус Гюнтер Диагностика дизельных двигателей. Серия «Автомеханик». Пер. с нем. Ю. Г. Грудского. - М ЗАО КЖИ «За рулем», 2004 г. - 176 с.

41. Гурский Д.А., Турбина Е.С. Вычисления в Mathcad 12. - СПб.: Питер, 2006. - 544с.

42. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С. И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. - 456 с.

43. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.

44. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник. - М.: Техносфера, 2005. - 592 с.

45. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. - М.: Техносфера, 2007. - 384 с.

46. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высш. учеб. заведений / [А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др.]. - М.:Издательский центр «Академия», 2008. - 432 с.

47. Дизельные двигатели - устройство, обслуживание, ремонт, поиск и устранение неисправностей (сертифицировано для станций технического обслуживания). - М.: Петит, 2002. - 384 с.

48. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. - Л.: Колос, - 1981. - 295 с.

49. Иващенко Н.А., Вагнер В.А., Грехов Л.В. Дизельные топливные системы с электронным управлением. - Барнаул, Изд-во Алт.ГТУ - 2000. - 111 с.

50. Ильин В.А. Повышение эффективности технического сервиса топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей. - Дисс. канд. техн. наук. - Уфа, 2006. - 141 с.

51. Кислов В.Г., Баширов Р.М., Марков В.А., Горбаневский В.Е. Дизельная топливная аппаратура. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1996. - 140с.

52. Кислов В.Г., Баширов Р.М., Попов В.Я. Топливные насосы распределительного типа. - М.: Машиностроение, 1975. - 176 с.

53. Колесников К.С., Александров Д.А., Асташев В.К. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Том 1-3: Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин. - М.: Машиностроение, 1994. - 534с.

54. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа / Киев: Знание, 1981.-30 с.

55. Костин А. К. и др. Работа дизелей в условиях эксплуатации. Справочник / А. К. Костин, Б. П. Пугачев, Ю. Ю. Коцинев; Под общ. ред. А. К. Костина. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. - 284 с.

56. Коффон Дж., Лонг В. Расширение микропроцессорных систем / М.: Машиностроение, 1987. - 318 с.

57. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ. Справочник. Кн. 1.- 5-е изд. перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 2002. - 409 с.

58. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е.А.Шорникова. 5-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 2004. - 412 с.

59. Кривенко П.М., Федосов И.М. Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторного двигателя. М.: Колос, 1980. - 288с.

60. Кривенко П.М., Федосов И.М., Аверьянов В.Н. Ремонт дизелей сельхозназначения. М.: Агропромиздат, 1990. - 271с.

61. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1989. - 416 с.

62. Кулешов А.С., Грехов Л.В. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. - М.: МГТУ, 2000. - 64 с.

63. Кутовой В. А. Впрыск топлива в дизелях. - М.: Машиностроение, 1981. - 119 с.

64. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учебное пособие. Т. VI. Гидродинамика. - 3-е изд., перераб. - М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1986.- 736 с.

65. Левин М.И. Современное состояние. Проблемы дизельной автоматики в зарубежной практике и отечественный опыт // Двигателестроение. 1999. - №4. - с.28-31., 2000. - № 1 - с. 17-20.

66. Ленин И.М. Системы топливоподачи автомобильных и тракторных двигателей. М., «Машиностроение», 1976. - 287 с.

67. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. - М.: Агропромиздат, 1994. - 224 с.

68. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. - 7-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.

69. Лышевский А.С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. - М.: Mashgiz, 1963. - 179 с.

70. Лышевский А.С. Системы питания дизелей. - М.: Машиностроение, 1981. - 216 с.

71. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 376 с.

72. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И., Кислов В.Г. Токсичность отработавших газов дизелей. - Уфа: Изд-во БГАУ, 2000. - 144 с.

73. Марков В.А., Кислов В.Г., Хватов В.А. Характеристики топливоподачи транспортных дизелей. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1997. - 160 с.

74. Махиянов У.А. Влияние момента затяжки стяжной гайки на диагностические параметры форсунки / Неговора А.В., Валиев А.Р. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Научно-технические проблемы современного двигателестроения» - Уфа: УГАТУ, 2011. - С.215-217.

75. Михлин В.И. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. - М.: Колос. 1978. - 247 с

76. Насос топливный высокого давления типа 4УТНМ: Техническое описание по эксплуатации 4УТНМ-1111005 ТЮ. Ногинск: ОАО «Ногинский завод топливной аппаратуры», 2002. - 23 с.

77. Неговора А.В., Габитов И.И., Грехов Л.В. Аккумуляторная топливная система с электрогидроуправляемой форсункой// Тракторы и СХМ. 2001 -№7. - с.14-16.

78. Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Учебно-практическое пособие. - Уфа: Изд-во ООО «Башдизель», 2006. - 150 с.

79. Никитин Е.А., Станиславский Л.В., Улановский Э.А. и др. Диагностирование дизелей. - М.: Машиностроение, 1987. - 224 с.

80. Николаенко А.В., Хватов В.И. Повышение эффективности использования тракторных дизелей в сельском хозяйстве. Л.: Агропромиздат, 1986. - 191 с.

81. Свиридов Ю.Б., Малявинский П.В., Вихерт М.М. Топливо и топливоподача автотракторных дизелей. Л.: Машиностроение, 1979. - 248 с.

82. Семенов В.И. ТНВД серии УТН. - М.: Легион-Авто дата, 2003. - 80 с.

83. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. - М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. - 480 с.

84. Системы впрыскивания топлива фирмы Бош для экологически совместимых дизельных двигателей, Роберт Бош Гмбх, Штутгарт, Производственный отдел К5. - 1994. - 46 с.

85. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков / А.Д. Блинов, К.А. Голубев, Ю.Е. Драган и др. Под ред. В.С. Папонова и А.М. Минеева. - М.: НИЦ «Инженер», 2000. - 332с.

86. Станиславский Л.В. Техническое диагностирование дизелей. - Киев; Донецк: Высшая школа. Главное изд-во, 1983. - 136 с.

87. Технология контроля и восстановления экологических показателей дизелей в условиях эксплуатации. М.: ГОСНИТИ, 1994. - 88с.

88. Топливная аппаратура легковых автомобилей. Дизель. Устройство и обслуживание. - Мн.: «Автостиль», 2003. - 112 с.

89. Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНВД. Перевод с английского. Учебное пособие - М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2009. - 48с.

90. Топливо и топливные системы судовых дизелей / Пахомов Ю.А., Коробков Ю.П., Дмитриевский Е.В., Васильев Г.Л. Под редакцией Пахомова Ю.А. - М.: Рконсульт, 2004. - 496 с.

91. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. Л.: Машиностроение, 1990. - с.352.

92. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей/ Л.: Машиностроение, 1974. - с.264.

93. Файнлейб Б.Н., Гинзбург А.М., Волков В.И. Оптимизация угла начала впрыска в дизелях // Двигателестроение, 1981, №2, с.16-18.

94. Чугунов В.А., Власов П.А. Влияние температуры топлива на износ распылителей бесштифтовых форсунок. Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1989, №1 с. 47 - 48.

95. Akio Takamura, Masamichi Ono, Yakimitsu Omori, Susumu Fukushima, Satoshi Ishikawa. Development of the measuring system on multi-stage injection rate quantity for diesel injection pump. Paper. Ono Sokki Co., Ltd., 2003.

96. Bosch Dianostics Soft. ESI [tronic] Automotive. Diagnosis and Technics: A, C, D, E, F, K, M, P, W. - Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Aftermarket. D-76225 Karlsruhe, 2005/1.

97. Estimated economic impact of new emission standards for heavy-duty on-highway engines. Draft final report. Acurex Environmental Corporation. January 26, 1996.

98. James A. Calcagno. Evaluation of Heavy-Duty Diesel Vehicle Emissions during Cold-Start and Steady-State Idling Conditions and Reduction of Emissions from a Truck-Stop Electrification Program. A Dissertation Presented for the Doctor of Philosophy Degree. The University of Tennessee, Knoxville, December 3, 2005.

99. Kenth Ingemar Svensson. Effects of Fuel Molecular Structure and Composition of Soot Formation in Direct-Injection Spray Flames. Brigham Young University. August 2005

100. Kourosh Karimi, Characterization of Multiple-Injection Diesel Sprays at Elevated Pressures and Temperatures, School of Engineering, University of Brighton, 2007.

101. Patent №050412, F02 M65/00. Apparatus and methods for testing a fuel injector nozzle. - Delphi technologies, inc., Michigan. - Filed. 5.06.2008. Pub. 22.01.2009.

102. Patent №1601945, G01M 15/00. Method and apparatus for measuring the quantity of fuel injection pumps for internal combustion engines. - Robert Bosch GmbH, Stuttgart. - Filed. 07.10.2003. Pub. 16.09.2004.

103. Patent №1746394, GO IF 9/00. Method for measuring the quantity of fluid ejected by an injector and device to effect said measuring. - Angeli di Rosora An. - Filed. 17.07.2006. Pub. 24.01.2007.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

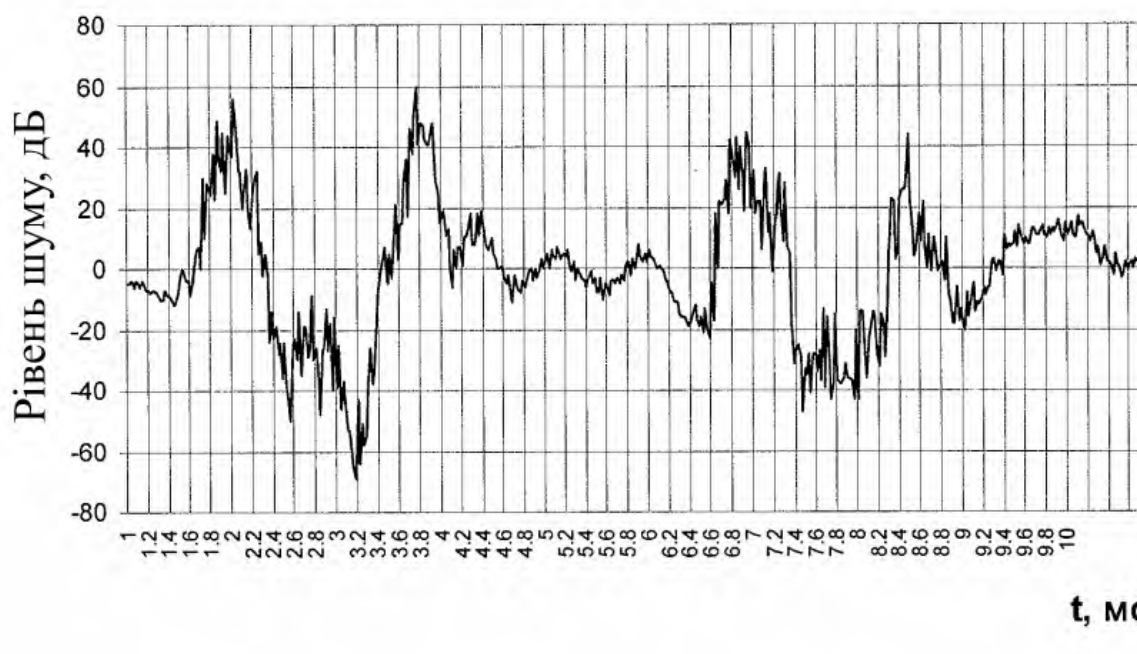
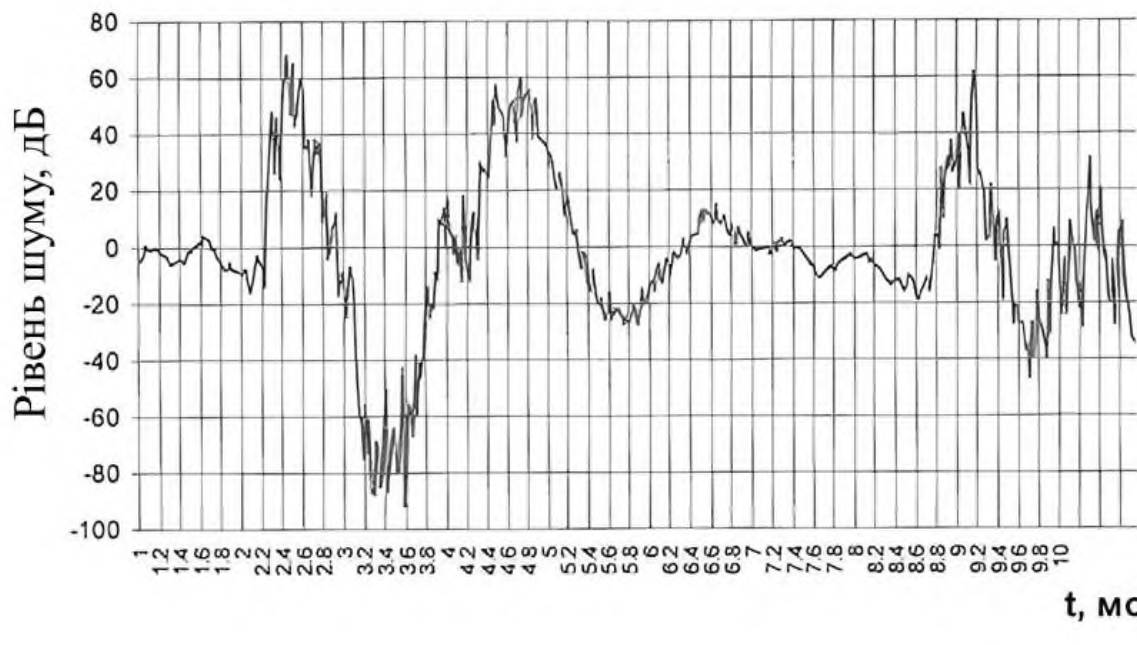
НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТОК А

НУБІП України

Рис. 4.8. Рівень шуму при моменті затягування 30 Нм (а) і 32 Нм (б)

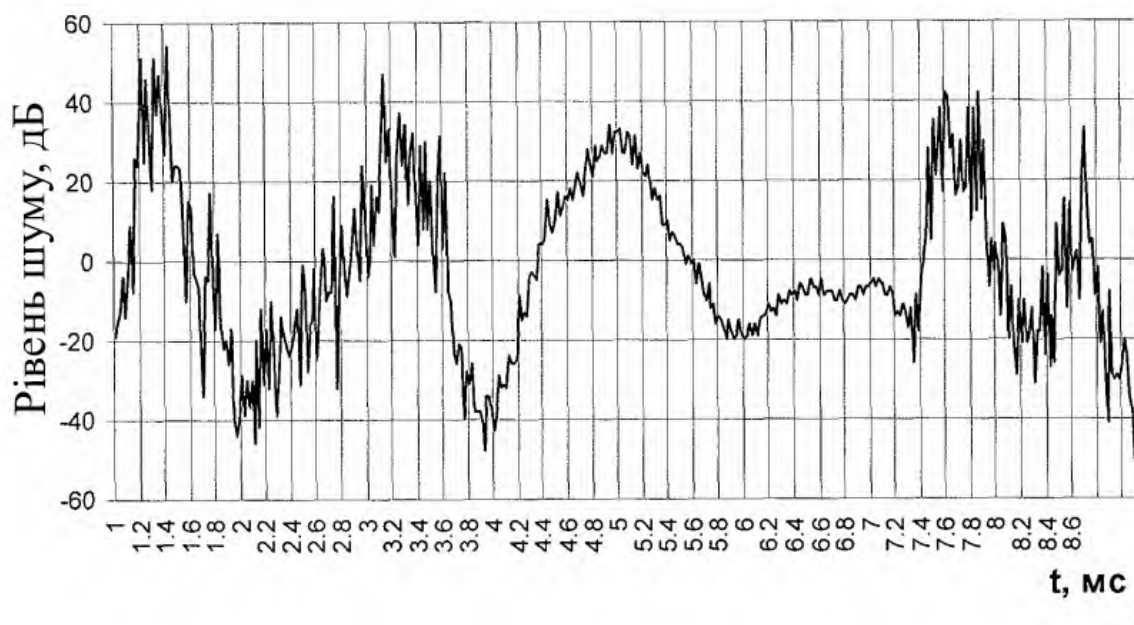
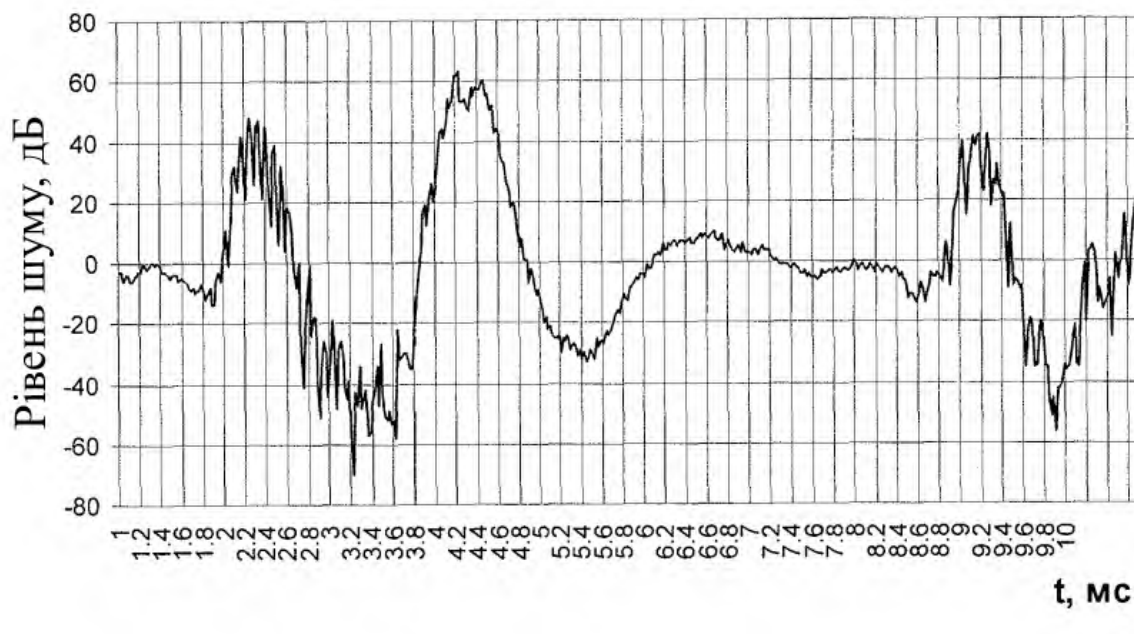


НУБІП України

ДОДАТОК Б

НУБІП України

Рис. 4.9. Рівень шуму при моменті затягування 34 Нм (а) і 36 Нм (б)

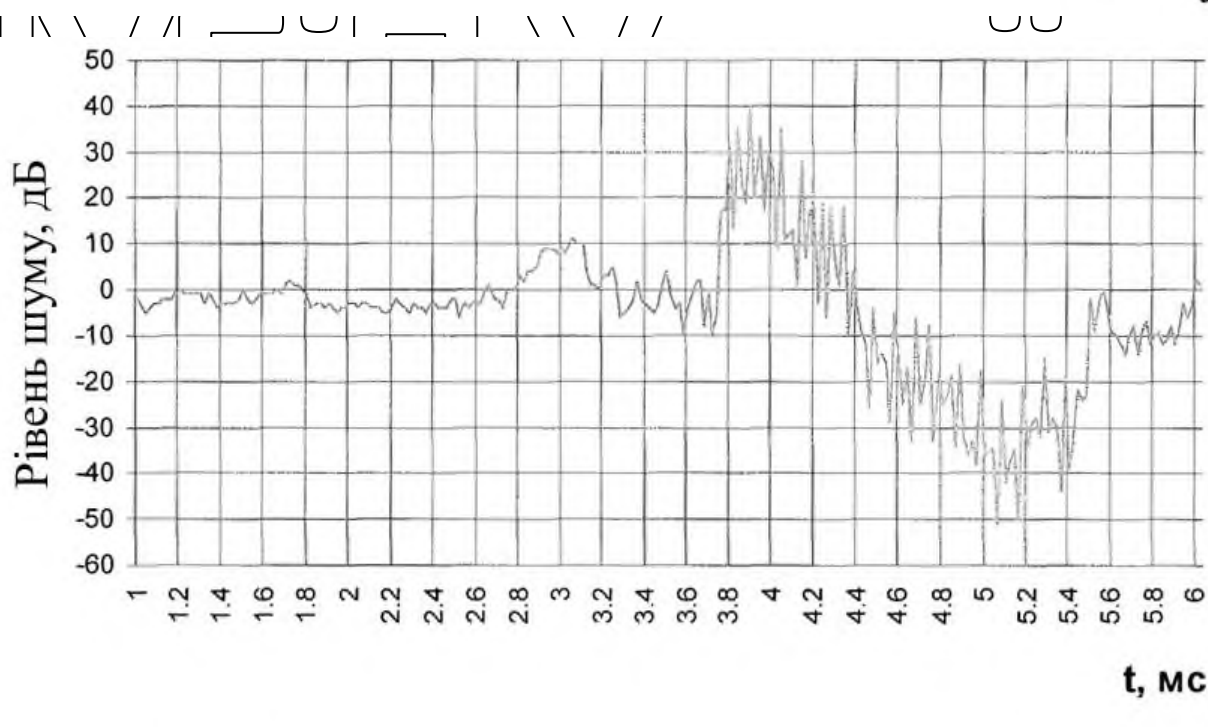
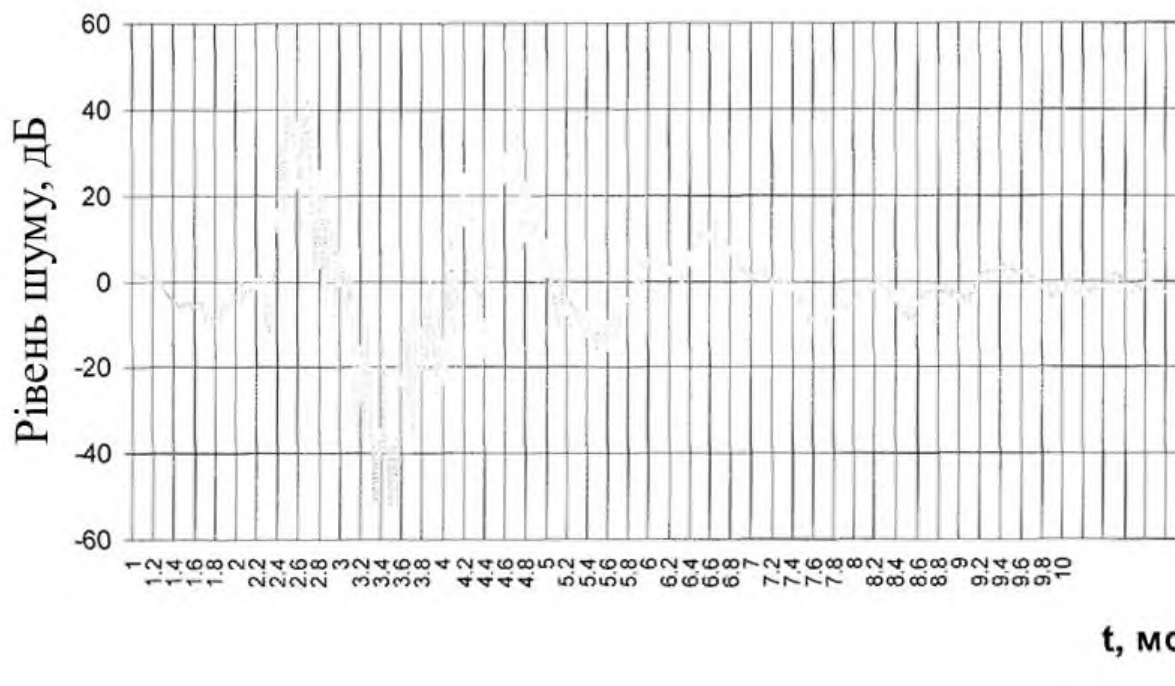


НУБІП України

ДОДАТОК В

НУБІП України

Рис. 4.10. Рівень шуму при моменті затягування 38 Нм (а) і 40 Нм (б)



НУБІП України