

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 2398 “С” 2023.12.29. 005 ПЗ

ДВОРНИК ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

конструювання та

дизайну _____

УДК 621.793.09

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету
конструювання та дизайну
(назва факультету (ННІ))

_____ Ружи́ло З.В.
(підпис) (ПІБ)

“ ____ ” _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
надійності техніки
(назва кафедри)

_____ Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ)

“ ____ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему „Удосконалення випробування форсунок при технічному
обслуговуванні дизелів лісних машин”

Спеціальність _____ 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Освітня програма _____ Обладнання лісового
комплексу _____
(назва)

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

Гарант освітньої програми

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

_____ (підпис)

_____ Банний О.О.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

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

_____ (підпис)

_____ Попик П.С.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

_____ Дворник Д.А.
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2024

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) (ПІБ)
“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Дворник Дмитро Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 133 – Галузеве машинобудування _____
(код і назва)

Освітня програма _____ Обладнання лісового
комплексу _____
(назва)

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

Тема магістерської кваліфікаційної роботи „Удосконалення випробування форсунок при
технічному обслуговуванні дизелів лісних
машин”

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 29 ” грудня 2023 р. № 2398 «С» _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру
2024.11.14. _____

(рік, місяць, число)

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

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

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

2. Дослідити вплив конструктивних і регулювальних параметрів розпилювачів на працездатність форсунок дизелів лісних машин.

3. Дослідити вплив параметрів складання, регулювання форсунок на якість розпилювання палива.

4. Науково обґрунтувати параметри технологічного процесу випробування та ремонту форсунок.

Дата видачі завдання “ 12 ” вересня 2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1. Стан лісогосподарських машин з дизельними двигунам.....	11
1.2. Аналіз надійності дизельного паливного обладнання	15
1.3. Аналіз приладів для перевірки та регулювання дизельних форсунок лісогосподарських машин	20
1.4. Обґрунтування необхідності модернізації обладнання для перевірки та регулювання форсунок дизельних двигунів	27
1.5. Висновки, мета і завдання дослідження	31
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ФОРСУНОК.....	34
2.1. Аналіз контрольних параметрів дизельних форсунок	34
2.2. Теоретичні передумови підвищення точності діагностики форсунок дизеля при випробуваннях.....	44
2.3. Висновки до розділу	47
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	49
3.1. Програма досліджень.....	49
3.2. Методологія дослідження.....	49
3.2.1. Опис будови розробленого приладу для перевірки та регулювання форсунок.....	49
3.2.2. Характеристики досліджуваних насадок.....	54
3.2.3. Методика перевірки форсунок на розробленому приладі.....	57
3.2.4. Методика дослідження технічного стану форсунок.....	62
3.2.5. Методика обробки результатів випробувань форсунок дизеля.....	62
3.3. Висновки до розділу	63
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	64
4.1. Аналіз технічного стану форсунок дизелів лісогосподарських	

машин	64
4.2. Дослідження точності вимірювання тиску на початку впорскування палива форсунками.....	69
4.3. Дослідження зміни діагностичних параметрів форсунок від напрацювання двигуна.....	72
4.3.1. Зміна гідроцильності розпилювачів форсунок.....	72
4.3.2. Зміна тиску початку впорскування палива форсункою.....	74
4.4. Результати експлуатаційних випробувань форсунок.....	76
4.5. Результати порівняльних досліджень випробувань та регулювання форсунок дизеля.....	79
4.6. Висновки по розділу	80
РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	82
5.1. Технологічні рекомендації щодо усунення несправностей, випробування та регулювання форсунок лісогосподарських машин	82
5.2. Економічна ефективність розроблених рекомендацій.....	85
5.3. Висновки по розділу	91
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	92
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94
ДОДАТКИ.....	101

ВСТУП

Нині частка витрат на утримання та ремонт лісозаготівельної техніки в структурі собівартості лісозаготівель становить понад 20 % [47]. Однією з причин такого стану є низький рівень організації та якості технічного обслуговування та ремонту транспортно-технологічних машин. Машини з дизельними двигунами широко застосовуються в лісництві та лісовому господарстві.

Перевагами використання дизельних двигунів як джерела енергії для лісогосподарських машин є краща економічна ефективність за рахунок високої компресії, що покращує процеси згоряння паливно-повітряної суміші; підвищена ефективність, низький вміст токсичних речовин у вихлопних газах [16, 67].

Енергетичні, економічні та екологічні показники дизелів (потужність, витрата палива на одиницю роботи, рівень механічних і теплових навантажень, надійність і токсичність) значною мірою залежать від технічного стану паливної апаратури.

За функціональним призначенням і конструктивною спрямованістю паливна апаратура дизелів тракторів повинна забезпечувати:

- подача точно дозованої кількості палива в циліндри двигуна за короткий проміжок часу (0,001...0,01 с) відповідно до порядку їх роботи; дрібно розпилений стан в камеру згоряння;
- оптимальний розподіл розпиленого палива по об'єму камери згоряння в залежності від типу і форми її конструкції;
- подача палива в певний час відносно верхньої мертвої точки положення поршня на такті стиснення і відповідно до навантажувального і швидкісного режимів двигуна;
- підтримання стабільності параметрів процесу подачі палива;
- регламентований ступінь очищення дизельного палива від різних видів забруднень.

Лісова галузь України щорічно потребує великих обсягів дизельного палива для проведення лісозаготівельних робіт. Водночас ці величезні паливні ресурси використовуються недостатньо ефективно через низьку паливну економічність тракторних і автомобільних дизельних двигунів при нормальній експлуатації. Основний вплив на витрату палива має технічний стан паливної апаратури. При роботі дизельних двигунів параметри паливної апаратури часто перевищують встановлені значення внаслідок механічних і фізико-хімічних впливів, що призводить до збільшення витрати палива, втрати потужності та підвищення токсичності вихлопних газів.

Для забезпечення оптимальних показників витрати палива, ефективної потужності дизеля та дотримання постійно зростаючих вимог до токсичності відпрацьованих газів необхідно своєчасно проводити ремонтно-технічні роботи паливної апаратури дизеля [8].

Великий вплив на ці показники має якість перевірки та регулювання форсунок. Від їх ефективності залежить якість розпилення палива, точність його дозування, продуктивність, економічність і токсичність вихлопних газів дизеля. Для підвищення ефективності використання дизельних форсунок велике значення має розробка та застосування нових, сучасних засобів діагностики. Це зменшить витрати на технічне обслуговування, передчасний монтаж і демонтаж, а отже, підвищить ефективність використання транспортної техніки в лісовому комплексі, що є актуальною проблемою [17, 18, 86]. В даний час для діагностики форсунок лісогосподарських машин в основному використовуються прилади КИ-15706, М-106 і ДД-2110. Однак вони не дозволяють об'єктивно оцінити технічний стан форсунок за точністю контрольованих параметрів. Отже, метою магістерської кваліфікаційної роботи є удосконалення випробувань та регулювання форсунок при технічному обслуговуванні та ремонті дизелів лісогосподарських машин шляхом використання модернізованого обладнання та науково обґрунтованої оцінки параметрів технічного стану форсунок. Для цього визначено показники, що впливають на роботу дизельних форсунок лісогосподарських

машин, та наведено закономірності їх зміни залежно від виробництва.

Об'єктом дослідження є дизелі лісогосподарських машин, паливні системи та форсунки.

Предмет дослідження: технічний стан дизелів лісогосподарських машин, паливної апаратури та форсунок.

Публікації. За темою магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 2 тези доповідей, представлених на 77-й Всеукраїнській науково-практичній студентській конференції «Наукові досягнення студентів у вивченні технічних і біоенергетичних систем природокористування: конструювання та проектування» (26-27 березня 2024 р. м. Київ, на VIII Міжнародній науково-технічній конференції « Крамаровські читання». до 116-ї річниці від дня народження д.т.н. , професора Володимира Савовича (23-24 лютого 2024 р.), м. Київ.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Стан лісогосподарських машин з дизельними двигунами

Однією з причин різкого падіння лісозаготівельної продукції є низький технічний рівень окремих виробничих підприємств, а також фізична та моральна зношеність лісозаготівельної техніки. В даний час техніка, введена в серійне виробництво в шістдесятих і сімдесятих роках, використовується на лісозаготівлі, транспортуванні лісу і нижньому складі. Крім того, у кілька разів скоротився обсяг виробництва лісогосподарської техніки, а виробництво деяких видів припинено [11, 47, 48, 74].

Через брак власних коштів протягом останніх років технічне оновлення парку лісогосподарської техніки практично не проводилося. У віковій структурі наявного парку лісогосподарської та транспортної техніки 65–80% складають повністю зношені пристрої, які згідно з офіційними документами підлягають амортизації або модернізації [10, 11].

Значний вплив на формування витрат на лісозаготівлю мають витрати на ремонт та технічне обслуговування лісозаготівельних машин.

За словами професора Єремєєвої Н.С., на лісозаготівельних підприємствах Київської, Житомирської та Волинської областей вартість ремонту техніки різна, але при собівартості 1 м³ лісозаготівлі ця вартість коливається від 27,4 грн. до 122,7 грн. Питома частка витрат на ремонт та обслуговування лісозаготівельної техніки у собівартості лісозаготівель становить 10,0–36,5%, у середньому по всіх підприємствах цей показник становить 21,7% [47, 48].

Однією з причин такого становища є низький рівень організації та якості технічного обслуговування та ремонту, зношеність ремонтно-сервісної бази, а також низка інших причин, пов'язаних із збереженням працездатності лісозаготівельних машин під час експлуатації та надійність його останнім часом значно знизилася [11]. Подібні тенденції спостерігаються і в інших

галузях [1, 81, 83].

Форми організації технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) техніки на лісозаготівельних роботах розвивалися протягом багатьох років. Більшість ремонтно-профілактичних робіт проводиться невеликими групами на місці використання машин, розподілених по виробничих зонах. При такому розподілі техніки лісозаготівельна промисловість змушена утримувати велику кількість малопотужних РММ, цехів і майданчиків для зберігання техніки поза гаражами. З цих же причин лісозаготівельні та цехові майданчики недостатньо оснащені стаціонарними і пересувними ремонтно-технічними засобами, а наявні використовуються неефективно [54].

«Союзлісреммаш» (ГНЦСЛПК), МГУЛ, ВЛТА провели велику роботу з організації та підвищення технічного рівня експлуатації лісогосподарської техніки та ремонтних робіт у промисловості та ЛТА. Серед них В. В. Баліхін , В. В. Биков, І. В. Воскобойніков , В. Н. Винокуров , В. А. Гоберман , Н. С. Єремєєв , В. М. Котиков , А. В. Серов та інші [6, 10, 12, 15, 17, 18, 22, 47, 48, 59, 94] .

При експлуатації машин головним завданням є підтримка їх надійності на високому рівні та управління технічним станом.

Багато робіт присвячено аналізу надійності лісозаготівельних машин, у тому числі підтримці їх працездатності шляхом ремонтно-профілактичних заходів. Низка досліджень показала, що двигун є однією з найважливіших складових надійності цього обладнання. Згідно з деякими літературними джерелами, на дизелі припадає 30–40% усіх несправностей тракторів [3, 80].

В даний час на базі тракторів з дизельними двигунами розроблено різноманітні технологічні машини, які широко використовуються в лісовому господарстві та деревообробній промисловості [15, 59, 96].

Використання дизельних двигунів у лісогосподарських машинах наведено в таблиці 1.1.

Використання дизельних двигунів

Модель двтгуна	Кількість цилінд рів	Турбо- надув	Діаметр циліндра і ход поршня	Робочий об'єм циліндрів, л	Машина
А-01 МЛ	L-6		130/140	11,15	ГТ-4; ЛП-33; ЛП-18; ЛП-18А; ЛП-18Г, ЛП- 18Д; ЛП-187; ЛП-188; ЛП-49; БМ-4А; ЛТ-65В; ЛТ-33; ЛТ-33А; ЛТ- 72А; ЛД-17; ДМ-17; ЛП-52; ЛП-52А; КС- 4671; ЛД-34
А-01М	L-8		130/140	11,15	ЛП-19А; ЛП-19; ЛП-19Б- 01; ЛП-19Б; ЛП-19ВЕ; ЛП-60-01А; Т-4А; ЕО- 4121В; Т-4АР2-С1; ДЗ- 101А ; ЕТ-ІА; ЛД-34
А-03 МЛ	L-6		130/140	11,15	ГТ-4М; ГТ-4М-01; ЛП- 33А; ЛП-51; ЛТ-183; ЛП- 58; ЛП-58-01; ВМ-4Б; ЛВ-76; ГТ-4М-04; ГТ- 4М-05; ГТ-4М-06; ГТ- 4М-13; ГТ-4М-15; ГТ- 4М-17;ЛТ-33А
СМД-14БН	L-4		120/140	6,33	ГДТ-55А; ЛХТ-55; ТВ-1
СМД-18.01	L-4	Т	120/140	6,33	ГДТ-55; ГДТ-55А; ГДТ- 55А-13; ТВ-1; Т- 1М ; ТВ- 1М-15; ТВ-1М-18; ТВ- 1М-16; ЛП-17; LP- 17А ; ЛП-30 Б; ЛП-30; ПЛ-1Б; КЛ-4; ЛНТ-55; ТП-90; МК-92
СМД-20Т.04	L-4	Т	120/140	6,33	ТЛТ-100; ТЛТ-100-06; ТПТ-100-04; ЛХТ-100; ЛХТ-100-06; ЛТ-69В; ТВ- 1М-16; ВМ1-В; ТЛХТ-12
СМД-62	V-6	Т	130/115	9,15	ЛТ-171; Т-150К
СМД-62А- 05.1	V-6	Т	130/115	9,15	МЛ-74;

Д-160	L-4		145/205	13,53	Т-130.1.Г-1; Т-170,01; ЛД-4; ЛД-4А; ЛД-35; МГП-2Б; МТП-81А; ДЗ-109В; ДЗ-109Б; ДЗ-116Б; ДЗ-117А; ДЗ-109-1; ДЗ-109Б; ДЗ-ПОА-1; ДЗ-110А-2; МК-16
Д-245Л	L-4				ТДТ-55А-05; КП-2; ЕС-01; ЕС-01-1; ВМ1 ; ВКМ331
Д-466С	L-6		130/140	11,15	ТТ-4М; ТТ-4М-01
ЯМЗ-236	V-6		130/140	11,15	МАЗ-509А; МАЗ 5335; МАЗ-5429; МАЗ-5430; МАЗ-5549; ТУ 8
ЯМЗ-238	V-8		130/140	14,85	КрАЗ -257 Б1 ; КрАЗ -255 L1 ; КрАЗ -255 В1 ; КрАЗ-256Б1 ; КрАЗ-258Б1 ; КрАЗ-255Б1 ; КрАЗ-260Б : МАЗ-5434; МАЗ-504В
ЯМЗ-238 Д	V-8		230/140	14,85	КрАЗ -643711 Турбо ; КрАЗ -643721; КрАЗ-255Л1 ; КрАЗ -260ЛС; КрАЗ -6443; КрАЗ -64431-82; МАЗ-5434; МАЗ-64255; МАЗ-6303-26; МАЗ-64229-027; МАЗ-64229; МАЗ-5433; МАЗ-54328; МАЗ-56411; МАЗ-5166; МАЗ-6303 ТИР; МАЗ-53363 МДП; МАЗ-53362-60; МАЗ-55165; МАЗ-5516; МАЗ-5552
ЯМЗ-238 М2	V-8	Т	130/140	14,85	КрАЗ -6444; КрАЗ-260М ; КрАЗ -6510; МАЗ-54329; МАЗ-53366 МДП; МАЗ-551603-023; МАЗ-55513; МАЗ-5551; МАЗ-55514-020: МАЗ-53371-00; МАЗ-5809; МАЗ-104; УРАЛ-4320-31; УРАЛ-43202-0351-31; УРАЛ-

					55571-30; УРАЛ-5557-31; УРАЛ-ЧАВДАР-Ф7 (БУРАЛ); УРАЛ-АТЗ-10-4320; УРАЛ-56453У
ЯМЗ-238НБ	V-8	T	130/140	11,15	К-700А; К-703; МЛ-30; ЛТ-163; ЛТ-165; ДМ-15; ДМ-17; ЛД-30
КамАЗ 740 10/Д	V-8		120/120	10,85	КамАЗ -5410; КамАЗ -54112; КамАЗ -5320; КамАЗ -53212; КамАЗ -4310; КамАЗ -43101; КамАЗ -43305; КамАЗ -55102; КамАЗ -54332; УРАЛ-4420; УРАЛ-44202; УРАЛ-4420-01

Найменш надійним їх вузлом є паливна апаратура. За деякими даними, на нього припадає до 60% відмов двигунів [3, 53, 76, 115].

Таким чином, технічний стан лісогосподарських машин значною мірою визначається працездатністю дизельного обладнання .

1.2. Аналіз надійності дизельного паливного обладнання

Дослідженню надійності паливної апаратури присвятили свої праці Антипов В.В., Бахтяров Н.І., Власов П.А., Кривенко П.М., Милов А.А., Петровський Д.І., Пучін Є.А., Корнєєв , Фейнлейб Б.М. , Фомін Ю.Л. та інші вчені [2, 7, 8, 16, 62, 63, 73, 80, 82, 106, 107].

Дизелі легкових і тракторних двигунів в експлуатації мають потужність, відмінну від зазначеної виробником. Основною причиною зміни потужності дизеля в умовах експлуатації є в основному порушення налаштувань паливної апаратури, хоча на потужність також впливає загальний технічний стан двигуна [4, 61, 62].

Це різко збільшує швидкість зносу основних інтерфейсів двигуна. При збільшенні потужності на 10% швидкість зносу збільшується на 35%. При цьому також різко зростають експлуатаційні витрати і середня продуктивність автомобіля і трактора через збільшення простоїв на ремонт.

Зі зниженням потужності двигуна знижується і продуктивність, але при цьому знижуються, а потім різко зростають експлуатаційні витрати.

Порівняння цих витрат на одиницю виконаної роботи при різних відхиленнях потужності двигуна від номінального показує, що ці відхилення не повинні перевищувати $-7\%...+5\%$. Відмовою слід вважати велику зміну потужності дизеля [29, 36, 76, 101]. Багато експертів вважають, що основною причиною таких поломок є несправності паливної апаратури двигуна, оскільки падіння потужності не перевищує п'яти відсотків через екстремальний знос основних інтерфейсів двигуна.

Проведені нами перевірки та нормативні документи з контролю якості паливної апаратури (ПА) лісогосподарських підприємств Волинської області за нормальних умов експлуатації показали, що 60% балонів мали порушення циклічної витрати в межах $\pm 20\%$; 55% форсунок мали низький тиск і 12% мали завищений тиск на початку ходу голки на 1...5 МПа.

Основними вузлами паливної апаратури, технічний стан якої істотно обмежує ефективність роботи дизеля, є паливний насос високого тиску (ТНВТ) і форсунки. Їх технічний стан істотно впливає на енергетичні та економічні показники дизелів: потужність, витрату палива на одиницю робочого часу, рівень механічних і теплових навантажень, надійність дизеля та токсичність вихлопних газів. Згідно з різними дослідженнями, в тому числі проведеними вченими ГОСНИТИ, несправні форсунки різко знижує паливну ефективність дизельного двигуна і збільшує витрату палива до 18%.

Згідно з нормативно-технічною документацією та функціональним призначенням і конструкцією паливна апаратура моторних і тракторних дизелів повинна забезпечувати [30, 31, 44, 86, 87, 88, 89]:

- подачу точно дозованої кількості палива до циліндрів двигуна за короткий час (0,001...0,01 с) відповідно до порядку їх роботи;
- дрібно розпилений стан в камеру згоряння;
- оптимальний розподіл розпиленого палива по об'єму камери згоряння в залежності від типу і форми її конструкції;

- подачу палива в певний час відносно верхньої мертвої точки положення поршня на такті стиснення і відповідно до навантажувального і швидкісного режимів двигуна;
- підтримання стабільності параметрів процесу паливоподачі;
- регламентований ступінь очищення дизельного палива від різних видів забруднень.

Проте, як показує практика експлуатації дизелів у лісовому господарстві, як і в інших галузях народного господарства, ці параметри значною мірою не забезпечуються через несправності, в тому числі форсунок [2, 50, 51, 52, 104].

Проведені нами перевірки форсунок при їх ремонті та аналіз роботи машин у лісовому господарстві та лісогосподарських підприємствах показали, що основними несправностями форсунок є:

- голка зависає в корпусі розпилювача;
- негерметичність розпилювального пристрою на запірному конусі;
- зношення циліндричних поверхонь голки і корпусу розпилювача (зниження водонепроникності);
- зниження пропускної здатності розпилювача (закоксовування розпилювальних отворів розпилювача і запірного конуса корпусу розпилювача);
- збільшення пропускної здатності розпилювача (абразивний знос отворів розпилювача);
- зниження тиску на початку впорскування палива (усадка пружини);
- зміна розміру ходу голки.

На ці несправності дизельних форсунок вказувалося в дослідженнях [4, 55,].

Основною причиною зниження продуктивності насадок є незадовільна їх перевірка та регламентація через відсутність кваліфікованого персоналу та сучасного обладнання як у лісогосподарських підприємствах, так і на обслуговуючих підприємствах [7, 70, 81, 82].

Несправна форсунка значно знижує ефективність паливної апаратури дизеля. Дослідження ГОСНИТИ показали, що недостатній натяг пружини форсунки призводить до збільшення витрати палива на 3% на кожні 3 МПа, а при відхиленні від номінального значення 6-7 МПа витрата палива збільшується на 20-25%. Закоксовка соплових отворів форсунок Форсунки інжекторів на 20-28% призводять до зниження потужності дизеля на 6,5-8% і економії палива на 5%.

При відновленні працездатності форсунок в процесі експлуатації їх регулярно розбирають, сортують і перевіряють на типові несправності. Під час контрольних випробувань форсунок на відповідність вимогам [27, 35, 36] визначають тиск на початку впорскування палива, якість розпилення палива, рухливість голки та герметичність запірного конуса та перевіряється водонепроникність розпилювача.

Основні порушення ПНВТ та методи їх усунення наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Несправності паливної апаратури, їх причини та способи усунення

Дефект	Причина	Спосіб усунення
Погане розпилення палива	Порушення: герметичність вихідного клапана насоса налаштування форсунок знос розпилювального отвору У паливі є вода неякісне паливо	Замініть клапан Відрегулюйте насадку на підставці або замініть шприц. Заправте машину чистим паливом Замініть паливо або злийте його та злийте осад

Затримка подачі палива в циліндр	Неправильно встановлений кут подачі палива через насос зношений механізм приводу насоса Регулювання повзунка несправне	Правильно встановіть привід ПНВТ Замініть насос Відрегулюйте штовхач
Недостатня подача палива	Брудні паливні фільтри помилка насоса Зношені поршневі пари. Налаштування насоса несправне У системі є повітря згущення палива паливопровід або фільтр грубої очистки	Зніміть верхній шар фільтруючих елементів або замініть їх Промити насос, замінити зношені деталі Замінити поршневі пари. Помістіть насос на підставку Прокачайте систему вручну за допомогою заливного насоса Заправте двигун зимовим паливом Промийте паливопровід і фільтр грубої очистки
Порушення тривалості вприску палива	Несправне регулювання штовхачів плунжера ролик кулачка насоса зношений	Відрегулюйте золотник або привід насоса. Замініть насос

Одним з найважливіших заходів забезпечення паливної економічності дизелів є забезпечення заданих налаштувань машин і вибір оптимальних режимів роботи. Найбільш актуальними є впровадження високоточних засобів діагностики та якісного регулювання [9, 26, 64, 65].

За даними ГОСТНИТИ, несправність або погане регулювання форсунки може бути причиною до 30-35 % усіх втрат палива машинно-тракторними агрегатами (рис. 1.1) [86].

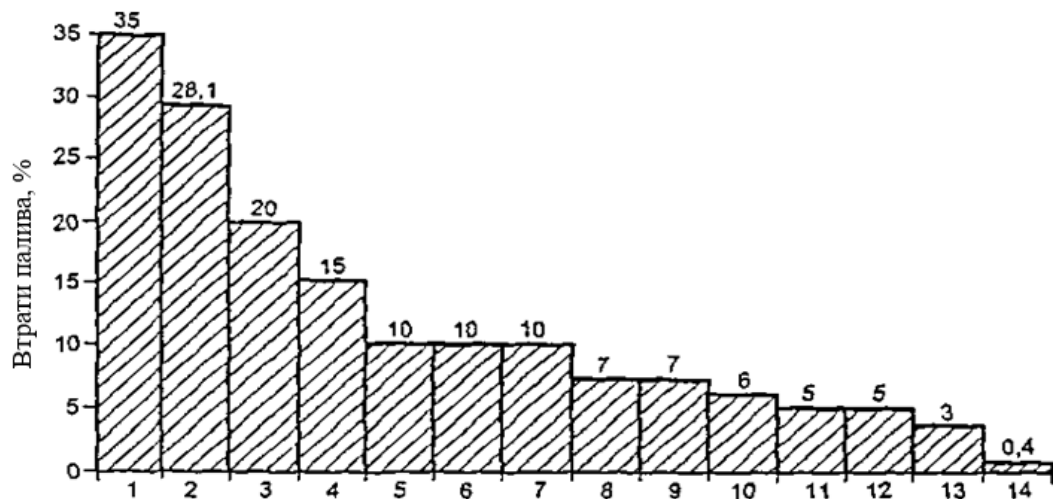


Рис. 1.1. Фактори, що впливають на втрати палива: 1 – несправність форсунок; 2 – закоксованість отворів форсунок – до 28%; 3 - навантаження на двигун на 50-70%; 4 - неправильне регулювання зчеплення, гальм, підшипників; 5 – зниження температури теплоносія до 440–500 °С; 6 – використання переднього ведучого моста не за призначенням; 7 - використання високов'язкого масла в коробці передач; 8 - неправильне використання всережимного регулятора; 9 - відкладення в радіаторі більше 1 мм; 10 - неправильний вибір довжини колії; 11 - неправильна установка ПНВТ; 12 - засмічення повітряного фільтра; 13 - нелінійність робочих ходів МТА; 14 - витік з паливопроводів і баків

Таким чином, надійність паливної апаратури та паливна економічність дизелів лісгосподарських машин значною мірою визначаються якістю перевірки та регулювання форсунок.

1.3. Аналіз приладів для перевірки та регулювання дизельних форсунок лісгосподарських машин

Завдання проведення інжекторних випробувань високоточним обладнанням виникає із загальної проблеми технічного оснащення підприємств сфери послуг [12, 23, 24, 48, 70, 72, 83, 97, 100, 102].

Система технічного обслуговування і ремонту (ТОР) регламентує вид і склад ремонтно-обслуговуючих дій (РОД) заходів і регламентує

періодичність і трудомісткість їх виконання. Для забезпечення працездатності обладнання використовується весь спектр РОД: докомплектація, передпродажне обслуговування і технологічна адаптація, технічне обслуговування з використанням діагностичних методів і засобів, поточний і капітальний ремонт, зберігання.

Значну роль у забезпеченні якісного та продуктивного виконання комплексу послуг з обслуговування обладнання відіграє технологічне обладнання. Стосовно до ремонтно-обслуговувального виробництва і згідно з визначенням, наведеним згідно з ГОСТ 3.1109 [41], СТО - це комплекс ремонтно-технологічного обладнання, інструменту, пристроїв і інструментів, призначених для виконання технологічних дій на об'єктах ТО. Доцільність механізації технологічних процесів обслуговування обумовлена необхідністю поліпшення і полегшення умов праці, підвищення продуктивності праці, зниження витрат і підвищення якості продукції. СТО впливають на якісні та кількісні показники процесів і продукції підприємств сфери послуг і сприяють підвищенню ефективності ремонтно-експлуатаційного виробництва в цілому.

Необхідність коштів і актуальність оснащення ними підприємств сфери обслуговування підтверджується роботами академіків А. І. Селіванова, В. І. Черноіванова, професорів І. Г. Голубевої, А. Є. Сєверного, С. С. Черепанова [23, 24, 71, 78, 79] та інших вчених.

Аналіз виконаних робіт з технологічної підготовки ремонтно-експлуатаційного виробництва та узагальнення досвіду підприємств сфери послуг, у тому числі зарубіжних, показує, що їх практичність характеризується наявністю виробничих приміщень, кваліфікованого персоналу в діючих станціях технічного обслуговування та повною комплект технологічної та нормативно-технічної документації [9, 60, 66, 69, 72, 86].

Опубліковані в цих роботах дані свідчать про високу забезпеченість СТО підприємств, які виконували основний обсяг ремонтно-профілактичних робіт (підприємства I та II рівнів РОД). Це значною мірою сприяло

можливості введення ремонтних об'єктів в експлуатацію після ремонту відповідно до вимог нормативних документів. Проте в подальшому, у зв'язку з ослабленням жорсткого державного планування з 1987 р., низькою платоспроможністю машиновласників і підприємств сфери послуг, а також обмеженням кількості власних інвестицій виробників у розвиток виробництва, кількість вироблених СТО різко скоротилася, а процес їх модернізації та створення нових типів практично припинився. Наприклад, за даними В. М. Корнєєва, за період з 1987 по 2005 рр. кількість продукції, виробленої для підприємств сфери послуг, зменшилася більш ніж у три рази (рис. 1.2) [55].

Аналіз технічного стану станцій технічного обслуговування, що діють на ряді обстежених спеціалізованих підприємств, показав, що понад 50 % засобів, що визначають технологічний рівень технічного обслуговування, є фізично зношеними [12, 23].

Ще однією причиною зміни структури попиту на СТО стала їх вузька спеціалізація. Традиційно розробка цих інструментів в основному велася з тематичною спеціалізацією відповідно до брендів або дуже схожих типів товарів однакового функціонального призначення.

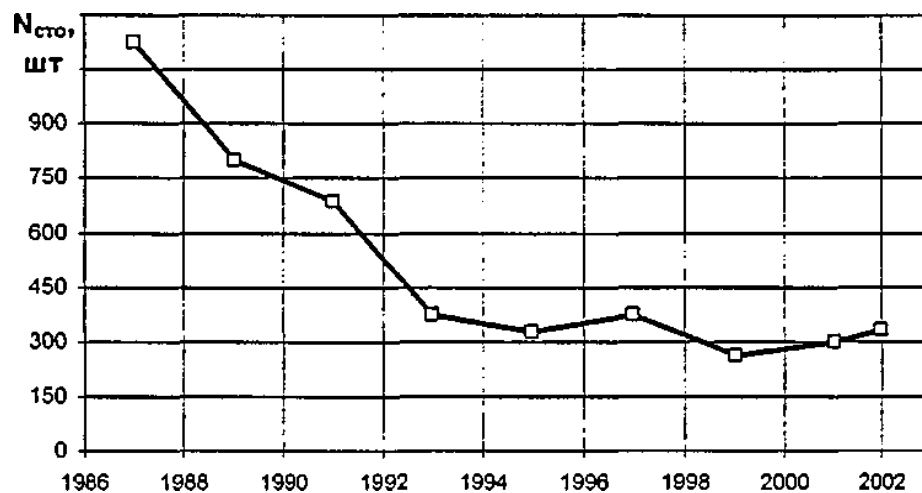


Рис.. 1.2. Динаміка виробництва (М) технологічного обладнання підприємств сфери послуг (СТО)

У результаті розроблено та введено у виробництво однотипні метало- та енергоємні вузькоспеціалізовані засоби з низькими показниками техніко-

економічної ефективності використання. В сучасних умовах такі АЗС, звичайно, не користуються попитом. Результати опитування 50 підприємств-виробників АЗС для обслуговування та ремонту свідчать про значні зміни в асортименті. Якщо у сфері обслуговування, діагностики та зберігання АЗС зберегли 20–30% асортименту, то асортимент продукції для ремонтних робіт становить лише 12–15% від технологічних потреб [55].

Великий внесок у розробку теоретичних основ методології проектування СТО вніс академік В.І. Черноіванов, Р.Р. Біленький, професор С.М. Бабусенко . У їхніх дослідженнях обґрунтовано доцільність і актуальність розробки системи технологічного обладнання (СТО) ремонтно-обслуговуючого виробництва на основі створення типових серій СТО блочно-модульного виконання [5, 9].

Вагомий внесок у розвиток СТО зробили такі наукові та проектні організації, як ГОСНИТІ, конструкторське бюро « Автоспецобладнання », науково-дослідна база колишнього Держсільгосптехніки та НВО « Автоспецобладнання », вищі навчальні заклади. В результаті їх дослідно-конструкторської роботи щорічно розроблялося близько ста зразків СТО. Це значно сприяло підвищенню якості технічного оснащення ремонтно-експлуатаційного виробництва. Однак при цьому серійно випускалося не більше 30% рекомендованих до виробництва СТО. Тому в роботі [55] наведено номенклатуру розроблених засобів для випробувань та налагодження паливної апаратури дизеля. Було розроблено 9 моделей стендів однакового функціонального призначення: КІ-921, КІ-6251, КІ-22201, КІ-22205, КІ-15711, КІ-15716, КІ-15735, КІ-15736, КІ-15748, але принципово різних. в будові. Аналіз структури насаджень показав, що злиття компонентів має дуже обмежену територію поширення. При їх проектуванні не використовувався принцип конструктивної наступності [28, 32, 33, 37, 42].

В умовах розвитку ринкової економіки практика створення спеціалізованих СТО є неприйнятною. Про це свідчить зарубіжний досвід, в якому відзначаються такі характерні тенденції, пов'язані з проектуванням та

функціонуванням СТО:

- при розробці СТО іноземні компанії в першу чергу думають про систему, а не про окремі її види. Відповідно, методом агрегатного проектування ми пропонуємо параметричні ряди технологічного обладнання, що враховують ринковий попит;

- виробництво великої кількості типорозмірів устаткування, що дозволяє підібрати тип, який найбільше підходить для конкретного підприємства сфери послуг і відповідає програмі та умовам виробничої діяльності;

- виробництво традиційних конструкцій технологічного обладнання, які зарекомендували себе на практиці та користуються попитом завдяки підвищеній якості, надійності, простоті в експлуатації та обслуговуванні.

Аналіз методики проектування АЗС показує, що єдиного методичного підходу до вирішення проблеми оснащення підприємств сфери обслуговування сучасними засобами, в тому числі для випробувань паливної апаратури, ще не розроблено.

При контрольних випробуваннях форсунок на відповідність вимогам [27] перевіряють: тиск початку впорскування палива; рухливість голки розпилювача; якість розпилення палива; герметичність уздовж запірнього конуса розпилювача; герметичність ущільнень, з'єднань і зовнішніх поверхонь порожнини форсунки високого і низького тиску; витрата сопла.

Інжектори перевіряють на приладах (стендах) з ручним (механічним) приводом типу КИ-15706 (ТУ 70.0001.595-83), М-106 (ТУ 5251 001 112 922 3501-99), КИ-562А, ДД-2110 або акумуляторні блоки, оснащені: пристроєм для фіксації інжектора, напор манометр з класом точності не менше 1,5 або інший реєструючий прилад, прилад часу, гідроакумулятор, насосний елемент з приводним механізмом.

Пропускную здатність форсунок перевіряють на стенді згідно з вимогами нормативної документації [27, 44]. Вимоги до точності засобів вимірювань - згідно з технічними умовами та (або) робочими кресленнями на конкретні

насадки. Випробування форсунок проводять на дизельному паливі або технологічній рідині [43]. В'язкість палива або технологічної рідини в умовах температурних випробувань - згідно технічних умов або робочих креслень на конкретні форсунки.

В даний час для перевірки інжекторних форсунок використовуються наступні прилади.

Прилад КІ-562А.

Призначений для перевірки та регулювання форсунок дизельних двигунів. З його допомогою можна перевірити і відрегулювати всі форсунки тракторних двигунів, які мають різьбу і кріплення паливопроводу високого тиску М14х1,5.

Технічні характеристики приладу КІ-652А

Плунжерна пара і випускний клапан	- паливний насос двигуна КДМ-46
Манометр	- пружинний
Плунжерний привід	- ручний
Максимально допустимий тиск рідини в приладі, МПа	- 40

ГОСТ 2405-80 манометр пружинний з верхньою межею вимірювання 40 МПа класу точності 1,5.

Прилад КІ -15706 призначений для перевірки та регулювання форсунок моторних і тракторних дизелів і дозволяє перевіряти наступні параметри:

- стартовий тиск впорскування палива одним соплом;
- якість розпилення палива;
- герметичність уздовж запірною конуса розпилювача;
- гідрогерметичність циліндричних поверхонь голки і корпусу розпилювача.

Технічні характеристики приладу КІ-15706

Назва показника, одиниця вимірювання	Значення параметра
--------------------------------------	--------------------

Тип	Настільний з ручним приводом
Межі вимірювання тиску, МПа	0-40
Похибка вимірювання тиску, %	±2,5
Діаметр поршня, мм	10
Хід поршня, мм	15
Подача палива, мм ³ / хід	1100 ± 100
Тип електродвигуна	МЕ -218

Стенди ДД-2110 і М-106 ідентичні за конструкцією і призначенням і використовуються для перевірки і регулювання форсунок дизельних двигунів тракторів у стаціонарних і пересувних ремонтно-діагностичних установках.

За допомогою приладу можна перевірити наступні параметри:

- тиск початку впрыскування і якість розпилення палива ;
- герметичність замикаючого конуса (при появі краплі палива на розпилувачі);
- гідрогерметичність по запірному конусу і циліндричній частині направляючої (в залежності від часу падіння тиску).

Прилад складається з плити, на якій встановлений паливний бак з камерою впрыску , рама з обіймою поршневого насоса, гідроаккумулятор, дросельна заслінка, манометр, фільтр і патрубки.

Технічні характеристики приладу ДД-2110

Найменування показників, одиниця вимірювання	Значення параметр
Тип	Настільний з ручним приводом
Межа допустимого перепаду тиску, МПа	0-40 (0-400)
Похибка вимірювання тиску, %	1,0(10)
Час падіння тиску після досягнення 35 МПа, хв	±1,5
Вимірювання швидкості, зміни/циклу	3

Технічна характеристика приладу М-106

Назви показників, одиниць вимірювання	Значення параметра
Тип	Настільний з ручним приводом
Діапазон відтворюваного тиску, МПа (кгс / см ²)	0...40
Межа допустимого перепаду тиску, МПа, (кгс / см ²)	1.0
Паливний бак, л	не менше 2
Подача палива, мм ² /цикл, не менше	800

Тому для випробувань дизельних форсунок у лісокомплексі використовується застаріле обладнання з ручним приводом, яке не забезпечує необхідної точності вимірювання діагностичних параметрів.

1.4. Обґрунтування необхідності модернізації обладнання для перевірки та регулювання форсунок дизельних двигунів

Аналіз проблемної ситуації показав, що на сьогоднішній день створені певні науково-технологічні основи оцінки якості експлуатації та забезпечення надійності паливної апаратури в експлуатації. Проте існуючі технологічні процедури, методи та засоби діагностики недостатньо враховують особливості функціонування сучасних систем паливного забезпечення дизельних двигунів (СПП), перспективи їх розвитку та вдосконалення. Усе це призводить до погіршення якості роботи ПА, неповного використання ресурсу, закладеного в конструкції, або її передчасного виходу з ладу [8, 16, 67].

Моніторинг стану труб за допусковими значеннями їх параметрів використовується не в повній мірі. Зокрема, на сьогоднішній день відсутні методики визначення послідовної циклової подачі палива та оцінки впливу нерівномірності міжциклової подачі палива на техніко-економічні показники роботи дизеля. Не з'ясовано низку питань щодо нерегулярності міжциклової подачі палива. Відсутні достатні експериментально підтвержені дані про його допустимі значення та вплив на техніко-економічні показники дизеля. З

іншого боку, навіть у виробничих умовах, а тим більше в умовах технічного обслуговування та ремонту деякі параметри не контролюються, необґрунтовано знижується їх вплив, точність контролю або допуски. Вказані в технічних умовах значення не відповідають ступеню їх впливу на процес в технічних характеристиках. Допустимі значення навіть не всіх контрольованих параметрів є науково обґрунтованими з точки зору їх збалансованого впливу на властивості ПА і дизеля в цілому. Як приклад можна навести допуск на відхилення ефективного перерізу отворів форсунок розпилювача: $\pm 12,3\%$, а в межах групи гідравлічної однорідності $\pm 3,1\%$ (для дизельного палива, наприклад). Деретуляція тиску впорскування $+0,8$ МПа, витік розпилювача, залипання або знос клапана і т.д.

Періодичність технічного обслуговування і контролю показників технічного стану визначається на основі різних критеріїв, визначених імовірно - статистичними методами [14, 21, 68]. Навіть при коригуванні заходів контролю і прогнозуванні технічного стану такі методи, як правило, не забезпечують виключення відмов і повного використання ресурсу замінюваної деталі.

Характерні несправності виникають з різною частотою і мають різну тяжкість наслідків. Для більш адекватної реакції на них необхідно було б отримати діагноз стану не за відхиленням набору діагностичних параметрів від визначених норм, а за комплексним критерієм, який враховує ймовірність їх виникнення та значення. Тому в таких роботах на основі статистичної обробки перевіряються сотні наборів ПА [22, 108], при цьому через неконтрольований масштаб дефектів деякі ділянки залишаються недостатньо вивченими, а сукупність відхилень від норми знижує достовірність досліджень. і вимагає збільшення їх кількості. У зв'язку з цим слід зазначити, що поки що практично не використовуються можливості математичного моделювання для отримання функціональних зв'язків між структурними параметрами, параметрами технологічної нестійкості та параметрами роботи ПА.

Відсутність досконалих стендів, установок та діагностичного обладнання для визначення параметрів подачі палива, недотримання технології та періодичності технічного обслуговування призводять до того, що 80% ресурсів ремонту технічного обладнання, передбачених ГОСТом, не забезпечуються.

Проведений аналіз показує, що найбільш широкі перспективи для діагностики ПА має невивіркова діагностика за параметрами процесу закачування з одночасним використанням засобів математичного моделювання та створення діагностичних баз даних.

Ефективність технічної діагностики підвищується з підвищенням точності і зменшенням складності вимірювання структурних параметрів. Це передбачає використання методів діагностики, які призводять до низьких методичних похибок при короткому процесі вимірювання.

У вітчизняній практиці в силу ряду причин впроваджуються принципово нові технологічні методи діагностики двигуна, в тому числі СПП, засновані на безперервному контролі та оцінці стану параметрів крутного моменту і паливоподачі, в яких діагностична система поєднується з загальною системою керування двигуном, поки не використовується. Широко використовувані СПП з жорстким поршневым приводом і механічним регулятором не можуть відповідати цим вимогам, навіть якщо конструкція значно змінена. або параметри режиму. При цьому оперативний контроль якості роботи ПА або безперервна діагностика може здійснюватися тільки на сучасних автомобілях, обладнаних електронними системами контролю подачі палива. Може проводитися як для аналізу технічного стану, так і для поповнення електронної бази даних блоку управління СПП, які в подальшому необхідні для коригування основних характеристик управління подачею палива.

Електронні автоматизовані системи створюють умови для вирішення діагностичного завдання на принципово новій виробничій основі, тобто виконання вузлами електронної установки практично всіх операцій

технічного діагностування з видачею кінцевого результату про стан об'єкта у вигляді «придатний», «не придатний», «норма», «менше норми», «більше норми», категорії якості тощо певної закономірної послідовності. Для цього використовуються сучасні мікропроцесори, комп'ютерні системи та перетворювачі. При такому підході вдається істотно підвищити надійність, знизити трудомісткість робіт і вимоги до кваліфікації виконавця.

Актуальним завданням є зниження трудомісткості діагностики за рахунок раціонального поєднання вбудованих зовнішніх засобів, у тому числі електронних приладів та автоматизованих систем діагностики, за рахунок підвищення адаптованості паливної системи до діагностики.

Аналіз діагностичних систем і обладнання показує, що основи проектування таких систем і відповідного програмного забезпечення на сьогодні практично не розроблені. В Україні відсутні портативні інформаційно-вимірювальні системи діагностики ПА, здатні одночасно діагностувати більшість структурних і регуляторних параметрів ПА та прогнозувати стан хоча б окремих елементів ПА. Між тим, таке обладнання потрібно спеціалізованим підприємствам з технічного обслуговування паливної апаратури, що в даний час є дуже актуальним. Відповідно до ГОСН ИТИ, якісне технічне обслуговування паливної апаратури дозволяє скоротити витрату дизельного палива на 30%.

Необхідність модернізації наявного обладнання для випробувань форсунок продиктована підвищенням надійності дизеля в цілому. Наприклад, якщо регульовані параметри насадки перевищують межі, зазначені в нормативно-технічній документації [27], ПА вважається непрацездатною.

Порушення технічного стану паливної апаратури в межах, що спостерігаються в експлуатації, суттєво знижують надійність інших муфт двигуна за рахунок підвищеного зносу [8]. Вплив технічного стану паливної апаратури на показники надійності двигуна наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Вплив технічного стану паливної апаратури на показники надійності дизельного двигуна

Показник надійності двигуна	Рівень налаштування ПА	
	нормальний	порушений ¹⁾
Частота відмов, відмов /год	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Середнє число відмов на циліндр, відмов / цил	3.3	8.3
Середній заробіток за відмову, год	460	220
Час на усунення несправностей, год	63	162
Час відновлення, год	230	620

Примітка ¹⁾. ПА виконує зазначені функції з параметрами, що не відповідають вимогам інженерно-технічної документації.

Аналіз затрат, пов'язаних з усуненням несправностей паливної системи, показує, що близько 90% всіх трудовитрат витрачається на усунення поломок паливного насоса високого тиску (ПНВТ) і форсунок. Оскільки основним завданням усунення поломок цих агрегатів є виявлення місця несправності та її причини, то поелементна діагностика ТНВД і форсунок дозволить істотно підвищити ККД паливної апаратури дизельних двигунів.

Тому з метою підвищення якості перевірки та регулювання форсунок дизеля та здешевлення діагностики їх параметрів необхідна розробка обладнання на основі електронно-вимірювальних комплексів.

1.5. Висновки, мета і завдання дослідження

1. У віковій структурі наявного парку лісогосподарської та транспортної техніки 65-80% становить повністю зношена техніка, яка згідно з офіційними документами підлягає списанню або модернізації.

2. Аналіз надійності лісозаготівельних машин показав, що одним із найважливіших вузлів, що визначають технічний стан, є двигун, на який припадає 30-40% усіх відмов.

3. Найменш надійними вузлами дизельних двигунів лісогосподарських машин є паливна апаратура. Він відповідає за до 60% відмов двигуна.

4. Однією з причин низької надійності паливної апаратури дизеля та її паливної економічності є погане регулювання форсунок. Наприклад, у 67% форсунок дизельних двигунів лісозаготівельних машин, досліджених лісогосподарських підприємствах Житомирської області, спостерігалися відхилення від нормального тиску на початку ходу голки. При цьому встановлено, що відхилення тиску на початку ходу голки форсунки на 6-7 МПа від номінального значення призводить до збільшення витрати палива на 20-25%.

5. Існуючі прилади для перевірки форсунок мають великі похибки у вимірюванні діагностичних параметрів, що призводить до неякісного налаштування паливної апаратури.

Метою роботи є удосконалення випробування форсунок при технічному обслуговуванні та ремонті дизельних двигунів лісогосподарських машин.

Відповідно до поставленої мети роботи планується вирішення наступних завдань:

1. Обґрунтування доцільності модернізації обладнання для випробування та регулювання форсунок дизельних двигунів лісогосподарських машин.

2. Аналіз діагностичних параметрів випробувань форсунок дизеля та теоретичне обґрунтування вказівок щодо підвищення точності діагностики форсунок дизеля під час їх випробувань.

3. Розробка програми наукових досліджень та методики підвищення якості випробувань дизельних форсунок лісогосподарських машин.

4. Розробити (модернізувати) прилад для перевірки форсунок високоточних дизелів.

5. Провести порівняльні випробування форсунок дизеля на існуючому

та модернізованому обладнанні.

6. Визначення залежності діагностичних параметрів і точності їх вимірювання від часу роботи форсунок.

7. Розробити технологічні рекомендації щодо усунення несправностей , випробування та регулювання форсунок дизельних двигунів лісогосподарських машин.

8. Впровадити розроблені рекомендації та провести техніко-економічну оцінку використання модернізованого обладнання.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ФОРСУНОК

2.1. Аналіз контрольних параметрів дизельних форсунок

Аналіз технології випробувань вузлів машин і, зокрема, дизельних форсунок показав, що на сьогодні критеріями якості є різні параметри [19, 20, 27, 31, 39, 40, 49, 44, 56]. Розглянемо їх докладніше. Одним з найважливіших є пусковий тиск уприскування палива.

Тиск початку вприскування - це тиск палива, необхідний для підйому голки впорскування.

Він визначається візуально за допомогою манометра приладу та (або) іншого реєструючого пристрою при вприскуванні палива в форсунку в момент впорскування.

Час максимального відхилення стрілки манометра або максимальне значення на дисплеї в цифровому вигляді відповідає тиску на початку впорскування палива.

Тиск на початку впорскування палива в форсунки регулюють регулювальним гвинтом шляхом загвинчування або відкручування гвинта при знятій заглушці форсунки і відкручування контргайки.

При закручуванні гвинта тиск зростає, а при ослабленні – зменшується. Один оберт шнека відповідає в середньому зміні тиску на 5 МПа. Після регулювання гвинт фіксується контргайкою.

Тиск на початку вприскування палива в форсунках з регулювальними шайбами регулюють шляхом зняття або установки шайм-пакета під пружину.

самоблокуючий ексцентрик, пусковий тиск впорскування палива регулюється поворотом ексцентрика. При повороті ексцентрика на один паз тиск змінюється на 0,3...5,0 МПа.

Рухливість голки розпилювача - це здатність голки інжектора рухатися всередині корпусу інжектора під час вприскування палива без застрягання або залипання.

Рухливість голки перевіряють прокачуванням палива через форсунку, налаштовану на номінальне значення початкового тиску впорскування, плавно переміщаючи рукоятку приладу і частотою впорскування 30...40 за хвилину.

Впорскування палива має супроводжуватися виразним переривчастим звуком, характерним для відповідної конструкції розпилювача при органолептичному методі оцінки.

Передумовою для виникнення шуму є відсутність підвищеного тертя або застрягання голки в корпусі розпилювача.

Основними параметрами, що оцінюють якість розпилення палива, є: дисперсність; рівномірність розподілу частинок по поперечному перерізу паливної форсунки (розпилювача палива); кут розсіювання паливного струменя (факелу) палива (для штифтових розпилювачів); напрямок струменів палива з розпилювальних отворів розпилювальної форсунки (для безштифтових розпилювачів).

Основною причиною погіршення якості розпилення палива є замерзання, тобто втрата рухливості голки (в цьому випадку закритий розпилювач працює як відкритий, що призводить до поганого розпилення палива, особливо на малих обертах двигуна і навантаження).

На якість розпилення палива також впливає щільна посадка розпилювача на торцевий конус корпусу розпилювача.

Якість розпилення палива перевіряють прокачуванням палива через форсунку, налаштовану на номінальне значення тиску початку впорскування, плавним рухом рукоятки приладу та регулюванням частоти впорскування. 60...80 за хвилину і визначається візуально по конусу розсіювання паливних жиклерів.

Паливо, що виходить з отворів сопла форсунки-розпилювача, при візуальному огляді повинно бути в туманному стані, без видимих поодиноких крапель, безперервних струменів, добре помітних локальних конденсатів і рівномірно розподілене по площі струменя у вигляді конічного

відблиску. Конус розбризкуваного палива повинен бути в межах 10...20°.

Початок і кінець ін'єкції повинні бути чіткими. Для штифтових форсунок може бути видно шток паливного жиклера.

Герметичність конуса закриття розпилювача перевіряють прокачуванням палива через форсунку, відрегульовану на тиск на 1,0...1,5 МПа нижче номінального значення тиску початку вприскування, легким переміщенням рукоятки приладу і візуально визначають стан вихід сопла.

Герметичність форсунки вважається задовільною, якщо протягом 15 секунд не відбувається витіку палива на кінці корпусу форсунки.

Допускається змочувати сопло розпилювача без утворення краплі.

Перевірка герметичності ущільнень, з'єднань і зовнішніх поверхонь порожнини форсунки високого тиску.

Одночасно з випробуванням перевіряють герметичність ущільнень, з'єднань і зовнішніх поверхонь порожнини високого тиску.

Протікання і проникнення вологи не допускаються.

Перевірка герметичності ущільнень, з'єднань і зовнішніх поверхонь порожнини інжектора низького тиску.

Герметичність ущільнень, з'єднань і зовнішніх поверхонь порожнини низького тиску форсунки, зануреної у ванну дизельного палива, перевіряють пресуванням повітрям під тиском 0,4...0,6 МПа.

Витік повітря протягом 10 секунд не допускається.

Для форсунок з регульовальними дисками герметичність порожнини низького тиску перевіряти не можна.

Перевірка пропускної здатності форсунок.

Перекачування палива форсункою через секцію ПНВТ (контролю) з паливопроводом високого тиску з швидкістю та подачею палива, визначеними в технічних умовах або робочих кресленнях на форсунку.

Контрольний насос відрізняється від серійного тим, що контролер відокремлений від насоса, а рейка зафіксована в нерухомому положенні.

Витрата форсунки оцінюється за значенням циклічної подачі g в mm^3

/цикл (г/цикл), що розраховується за формулою:

$$g = \frac{V}{i}, \quad (2.1)$$

де V - кількість рідини, яку збирає лічильник, мм^3 (г);

i - кількість циклів

або

$$\frac{V}{g} = i \cdot 1000, \quad (2.2)$$

де V - кількість рідини, що надходить у склянку через пробне сопло, см^3 ;

i - кількість циклів (ходів поршня), за які було отримано виміряну кількість рідини;

1000 - коефіцієнт перерахунку кількості рідини, виміряної в см^3 , в мм^3 .

Дозволяється перевіряти витрату сопла за величиною ефективного перерізу. При цьому форсунки заправляються паливом на рівні постійного тиску або постійної витрати, що забезпечує турбулентну подачу палива за затвердженою в установленому порядку методикою заводу-виробника.

Ефективна площа поперечного перерізу насадки (мм^2) за результатами лиття розраховується за формулою:

$$(\mu_f) = \frac{G}{10t\sqrt{2q\gamma\Delta P}}, \quad (2.3)$$

де G - витрата палива через розпилювальні форсунки під час випробувань, г;

t - час випробування, с;

q - прискорення сили тяжіння $9,81 \text{ см/с}^2$;

γ - щільність палива, кгс/см^3 ;

ΔP - різниця тиску між середовищем перед форсунками і середовищем, у яке паливо виходить з форсунок, МПа.

За результатами отриманих значень форсунки поділяють на чотири групи за продуктивністю в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1

Комплектація форсунок в залежності від пропускної здатності

Номер групи	Значення витрати, см ³ /1000 циклів
0	106...108
1	108...110
2	110...112
3	112...114

Вибрані форсунки не повинні відрізнятися більше ніж на 4%, що встановлюються на двигун.

В останні роки проводяться дослідження з оптимізації переліку діагностичних параметрів паливної апаратури та їх показників [51, 73]. До найбільш значущих досліджень на цю тему належать праці Петровський Д. І. [80]. Аналітично описав процес подачі палива на різних етапах формування тиску палива з метою обґрунтування попереднього вибору діагностичних параметрів і режимів діагностики, які б дозволили однозначно оцінити технічний стан елементів паливної системи високого тиску (ПСВТ) , з урахуванням передумов їх функціонування.

Для моделювання зміни тиску в процесі подачі палива на датчик тиску, встановлений перед форсункою, де сигнал тиску має найбільшу інформативність про технічний стан ПА, створено розрахункову схему за гідродинамічною теорією процес подачі палива для конструкції типу УТН [80].

Для отримання інформації про вплив технічного стану окремих елементів ПА на характер зміни осцилограми тиску на різних його ділянках весь процес подачі палива було розбито на три часові інтервали (етапи процесу подачі палива). Тривалість першого етапу відповідає часу, необхідному для того, щоб хвиля тиску, створювана насосом, пройшла шлях до датчика. Тривалість другого етапу відповідає часу, необхідному для

підготовки інжекторної магістралі до початку впорскування палива. Третій етап відноситься до процесу впорскування палива.

Важливою діагностичною інформацією на першому етапі формування процесу подачі палива, яку може зафіксувати датчик, є початок підвищення тиску перед форсункою. Цей параметр можна використовувати як діагностичний параметр для оцінки геометричного кута початку просування, якщо він має задовільну похибку оцінки. Сумарну похибку вимірювання геометричного кута початку випередження ($\Delta \varphi_{\text{нп}}$) можна виразити у вигляді залежності:

$$\Delta \varphi_{\text{нп}} = \varphi_{\text{днп}} - \varphi_{\text{гнп}} - \varphi_{\text{зд}}, \quad (2.4)$$

де $\varphi_{\text{днп}}$ - кут повороту вала насоса в момент підйому клапана (фактичний кут початку подачі);

$\varphi_{\text{гнп}}$ – геометричний кут початку подачі;

$\varphi_{\text{зд}}$ - кут Обертання вала насоса протягом часу, необхідного валу для проходження від насоса до інжектора (кут затримки підвищення тиску).

Фактичний кут випередження та фактори, що впливають на нього, були визначені на основі аналітичної моделі, створеної відповідно до теорії гідродинамічного розрахунку. Для першого етапу процесу подачі палива рівняння виглядає так:

$$f_n \cdot \frac{dh}{dt} = a \cdot (V_n + V_w) \frac{dP}{dt} + \frac{\pi D_n^2 \delta_n^3 \beta_1 dP}{12 \cdot \eta \cdot l_n} + \mu_{\text{но}} f_{\text{но}}^{(h)} \sqrt{\frac{2 \cdot dP}{\rho}}, \quad (2.5)$$

де a – швидкість поширення хвилі тиску вздовж паливопроводу ;

f_n - площа поршня;

h - хід поршня;

V_n, V_w - об'єм простору і штуцера над поршнем;

D_n – діаметр поршня;

δ_n – середній зазор між поршнем і гільзою;

β_1 – коефіцієнт, що враховує ексцентриситет поршня відносно втулки;

η – коефіцієнт динамічної в'язкості палива;

μ_{no} - Коефіцієнт витрати через заливне вікно;
 $f_{no}^{(h)}$ - функція площі поперечного перерізу заливного вікна в залежності від ходу поршня;
 l_n - довжина ущільнювальної поверхні поршня;
 ρ – питома вага палива. Кут затримки наростання тиску на соплі φ_{zd} визначається співвідношенням:

$$\varphi_{zd} = \frac{L_1}{C} \cdot 6n, \quad (2.6)$$

де L - довжина паливо проводу високого тиску , що з'єднує насос з датчиком тиску;

C – швидкість поширення хвилі в паливо проводі високого тиску;

H - швидкість вала насоса.

Аналіз похибки вимірювання геометричного кута початку подачі за рівняннями (2.5) і (2.6) дав змогу сформулювати рекомендації щодо її зменшення:

- вимірювання геометричного кута початку подачі проводити на мінімальних швидкостях в регульованому діапазоні (для двигуна Д-240 $n = 600-700 \text{ хв}^{-1}$);

- у разі несправностей ПА , які знижують залишковий тиск у паливопроводі до точки появи пустот, вимірювання кута випередження потоку є недоцільним, оскільки це призводить до неприпустимої похибки вимірювання. До таких несправностей відносяться: надзвичайний знос пилкових отворів, максимальне зниження тиску впорскування, запуск, вихід з ладу напірного клапана тощо.

Аналіз математичних моделей другого та третього ступенів процесу подачі палива, створених за теорією гідродинамічного розрахунку, показав , що вони не в повній мірі відображають зміни тиску перед соплом для вирішення поставлених завдань.

Основною причиною низької впевненості є припущення про постійність швидкості поширення хвилі тиску вздовж паливопроводу при

моделюванні процесу подачі палива.

У ході досліджень встановлено, що швидкість поширення хвилі тиску в паливопроводі в зоні між датчиком тиску та форсункою становить 100...150 м/с, що дозволяє спостерігати хвилю тиску, створювану насоса без перекриття з відбитою хвилею від інжектора, в межах $4^{\circ}48'$ на кут повороту вала насоса при частоті обертання 300 хв^{-1} і циклічній подачі перетин палива $20 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

Уточнену модель другого етапу процесу подачі палива з урахуванням цієї функції можна записати так:

$$f_n dh = a \cdot (V_u + V_w + V_{mp}) \cdot dP + \frac{\pi D_n^2 \delta_n \beta_1 dP dt}{12 \eta \cdot l_n}, \quad (2.7)$$

де V_{mp} - об'єм паливного проходу високого тиску .

Аналіз рівняння (2.7) дозволив зробити такі висновки:

- максимальний тиск P_n^{max} , який утворюється при подачі палива за час, необхідний для проходження хвилею тиску відстані від датчика тиску до форсунки і назад, залежить від технічного стану поршневої пари;

- зв'язок максимального тиску на цій стадії з технічним станом поршневої пари найбільш чутлива при мінімальній частоті обертання вала насоса $n = 300 \text{ хв}^{-1}$.

Удосконалена модель третьої стадії процесу подачі палива представлена виразом:

$$P_\phi = P_{ocm} + 2 \cdot (F_a + P_n^{max}) - \frac{a \cdot \rho \cdot \mu_\phi f_\phi}{f_a} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_\phi - P_\kappa)}{\rho}}, \quad (2.8)$$

де R_f - тиск перед соплом;

P_{ocm} - залишковий тиск на шляху нагнітання;

F_a - хвиля тиску, що створюється насосом під час уприскування палива;

a - швидкість поширення хвилі тиску вздовж паливопроводу;

$\mu_\phi f_\phi$ - витрата сопла;

f_a - площа каналу паливопроводу;

P_k - тиск перед конусом голки.

Аналіз рівняння (2.8) вказує на те, що тиск, який створюється на форсунці в процесі вприскування, залежить як від технічного стану ПНВТ, так і від технічного стану форсунки. Заздалегідь передбачалося, що оцінюючи зміну тиску в процесі вприскування по відношенню до тиску, що створюється на другому етапі процесу подачі палива, можна отримати інформацію про технічний стан елементів форсунки. Для підтвердження цього припущення аналітично проаналізовано фактори, що визначають співвідношення максимального тиску на другій стадії процесу подачі палива та максимального тиску на третій стадії процесу подачі палива.

Для цього поточне значення тиску перед соплом P_ϕ яке використовується в рівнянні (2.8), було замінено на максимальний тиск вприскування P_n^{max} . Після деяких перетворень і спрощень рівняння (2.8), проведених за умови роботи ПА на холостому ході, було отримано рівняння, що відображає залежність між тиском початку закачування та відношенням максимальних тисків, що утворюються на другій і третій ступенях процес подачі палива:

$$P_\phi = P_s^{max} - \frac{2P_n^{max}}{\kappa_1 \sqrt{P_s^{max}}} + \frac{1}{\kappa_1} \sqrt{P_s^{max}}, \quad (2.9)$$

де P_ϕ – тиск на початку впорскування палива через форсунку,

P_g^{max} – максимальний тиск впорскування;

P_n^{max} – максимальний тиск подачі, що формується на другій стадії процесу подачі палива;

k_I – коефіцієнт пропорційності.

Рівняння (2.9) показує, що початковий тиск уприскування палива інжектором можна однозначно визначити шляхом вимірювання максимального тиску впорскування та максимального тиску, створюваного насосом на другій стадії процесу впорскування палива. Шляхом подальших перетворень рівняння (2.8) можна визначити таке співвідношення між максимальним тиском впорскування та максимальним тиском подачі:

$$P_g^{max} = 2 P_n^{max} \quad (2.10)$$

Співвідношення (2.10) отримано для роботи на холостому ході за умови, що форсунка встановлена на тиск початку впорскування, який перевищує максимальний тиск перед цим, який розвивається на другому етапі процесу подачі палива. При цьому, якщо всі порожнини форсунок герметичні, максимальний тиск другого ступеня процесу подачі палива повинен бути в два рази максимальний тиск третього ступеня процесу подачі палива.

В результаті теоретичних досліджень автором уточнено математичні моделі другого та третього етапів процесу паливоподачі. Діагностичні параметри та режими діагностики, в тому числі герметичність насадки, вибирали на основі аналізу модифікованих моделей [80].

Тому основними причинами низької ефективності використання діагностичних засобів для оцінки працездатності форсунок слід вважати:

- 1) Відсутність інформації для достовірної оцінки працездатності вузлів паливної апаратури;
- 2) висока складність діагностики, порівнянна зі складністю оцінки

працездатності елементів ПА на стаціонарних стендах;

3) низька достовірність діагностичної інформації, отриманої при використанні приладів, що оцінюють продуктивність за непрямыми параметрами (за шумом, який видає сопло при розпилюванні, за створюваним тиском);

4) Одним з найважливіших діагностичних параметрів форсунок є герметичність по запірному конусу.

Одним із шляхів підвищення якості випробувань є підвищення вимог до точності вимірюваних параметрів [71, 77, 78, 79].

2.2. Теоретичні передумови підвищення точності діагностики форсунок дизеля при випробуваннях

За результатами аналізу попередніх досліджень зроблено спроби теоретично обґрунтувати необхідність підвищення точності вимірюваних параметрів при випробуванні форсунок [84, 85, 87, 88, 89]. Наша гіпотеза зводиться до наступного.

Згідно з [27], щільність замикаючого конуса розпилювача та якість розпилення палива форсункою візуально визначаються вологістю форсунки форсунки та туманоподібним станом розпилюваного палива, що виходить із розпилювальних отворів розпилювача. корпус розпилювача.

Гідравлічну щільність пари корпусу прецизійного розпилювача голчастого розпилювача оцінюють шляхом визначення величини перепаду тиску в динаміці. Очевидно, що такі методи випробувань не забезпечують високу точність і надійність контрольованих параметрів, проведення вимірювань і зручність обробки отриманої інформації [13, 51, 55, 56]. Наприклад, при оцінці гідравлічної щільності обприскувача зареєстрований перепад тиску складається з двох компонентів:

$$\Delta P = \Delta P_{\phi} + \Delta P_c \quad (2.11)$$

де ΔP – фактичне значення перепаду тиску, МПа;

ΔP_{ϕ} – падіння тиску через нещільність розпилювача форсунки, МПа;

ΔP_c - падіння тиску через негерметичність паливної системи приладу, МПа.

Слід зазначити, що значення ΔP_c , яке залежить від герметичності паливної системи приладу, вносить значну похибку в результат випробування. У зв'язку з цим для забезпечення точності та достовірності вимірювань найбільш доцільним є використання мікропроцесорних пристроїв і систем для автоматизації процесів вимірювання та обробки отриманих даних і підвищення точності вимірювань. Усе це відкриває великі перспективи для розробки методів кількісної оцінки контрольованих параметрів насадок на якісно новому рівні.

Виходячи з поставленої мети, нами розроблено інформаційно-вимірювальний комплекс, структурна схема якого представлена на рис. 2.1.

Інформаційно-вимірювальний комплекс працює наступним чином. При перевірці пристрою на герметичність в паливній системі створюється тиск (P_n). З часом (t) відбувається певне падіння тиску, спричинене негерметичністю системи. Падіння тиску в системі з часом апроксимується функцією експоненціального розподілу:

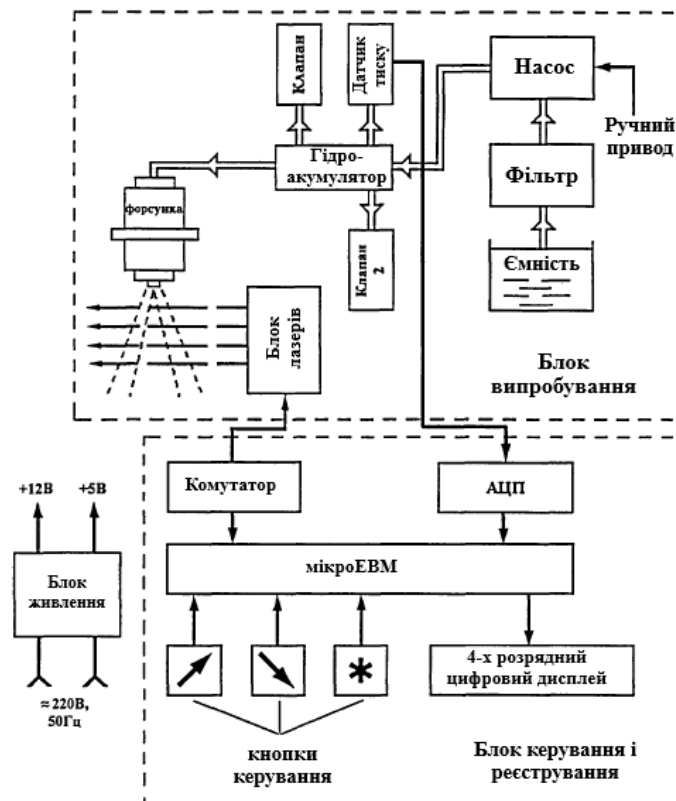


Рис.. 2.1. Функціональна структурна схема інформаційно-вимірювального комплексу

$$P_c(t) = P_{oc} \cdot e^{-k_2 t}, \quad (2.12)$$

де P_c - поточний тиск в паливній системі пристрою під час його випробування, МПа;

P_{oc} - початковий тиск у паливній системі приладу під час його випробування, МПа ;

e - основа натурального логарифма ($e = 2,718$);

t - час випробування, с;

k_2 - коефіцієнт, що характеризує ступінь герметичності паливної системи пристрою (визначає швидкість зміни працездатності).

Час перевірки пристрою на герметичність становить 30 секунд. Потім, використовуючи вираз (2.12) і виконавши необхідні перетворення, визначимо коефіцієнт (k) за формулою:

$$k_2 = \frac{\ln(P_{oc} / P_{30})}{30}, \quad (2.13)$$

де P_{30} - тиск після закінчення часу випробування, МПа.

При перевірці форсунки на гідравлічну густину розпилювача оператор вводить значення початкового пробного тиску $P_{оф} = P(t_o)$. Через 30 секунд прилад фіксує падіння тиску в паливній системі приладу з інжектором. При цьому перепад тиску ΔP_c , викликаний негерметичністю системи пристрою, визначається за формулою:

$$\Delta P_c = P(t_o) - P_c(t_o + 30), \quad (2.14)$$

де t_o - час початку випробувань, с;

$(t_o + 30)$ - час закінчення випробувань, с.

Підставляючи вирази (2.12) і (2.13) у вираз (2.14) і виконуючи математичні перетворення, отримуємо залежність значення похибки, яка не вноситься герметичністю системи пристрою .

$$\Delta P_c = (1 - \ln \frac{P_{30}}{P_{oc}}) \cdot P_{of}, \quad (2.15)$$

де ΔP_c – похибка, спричинена негерметичністю системи обладнання, МПа;

P_{of} - початковий тиск випробувальної форсунки на гідравлічну щільність розпилювача, МПа.

Якщо ми назвемо вираз у дужках константою (C) у рівнянні (2.15), то отримаємо:

$$\Delta P_c = C \cdot P_{of}, \quad (2.16)$$

де C - константа, що характеризує герметичність паливної системи приладу.

З рівняння (2.16) робимо висновок, що характер лінійної залежності буде визначатися значенням константи (C). Наближення постійної (C) до нуля характеризує високу герметичність паливної системи приладу.

Використовуючи вирази (2.11) і (2.16) отримуємо формулу для розрахунку величини, що характеризує гідравлічну щільність форсунки з урахуванням негерметичності паливної системи приладу:

$$\Delta P_\phi = \Delta P - C \cdot P_{of}, \quad (2.17)$$

Застосування цього методу в приладах для перевірки і регулювання форсунок дозволяє виключити вплив течії в паливній системі приладу на показання при оцінці гідравлічної щільності розпилювача.

Це теоретично демонструє можливість зменшення діагностичної похибки параметра при перевірці форсунок.

Для подальшої перевірки гіпотези ми створили прототип модернізованого приладу для оцінки параметрів форсунок.

2.3. Висновки до розділу

1. Одним з важливих діагностичних параметрів при перевірці форсунок

дизеля є герметичність запірною конуса.

2. Використовувані в даний час прилади не дають достовірної оцінки роботоздатності форсунок через недостатню точність вимірюваних параметрів.

3. Теоретично обґрунтовано та реалізовано можливість підвищення точності вимірювання параметрів досліджуваних дизельних форсунок шляхом використання мікропроцесорів і систем у приладах.

4. Для подальших досліджень виготовлено прототип модернізованого приладу.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Програма досліджень

Для реалізації програми експериментальних досліджень була розроблена загальна схема, яка зображена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Загальна схема дослідження дизельних форсунок

3.2. Методологія дослідження

3.2.1. Опис будови розробленого приладу для перевірки та регулювання форсунок

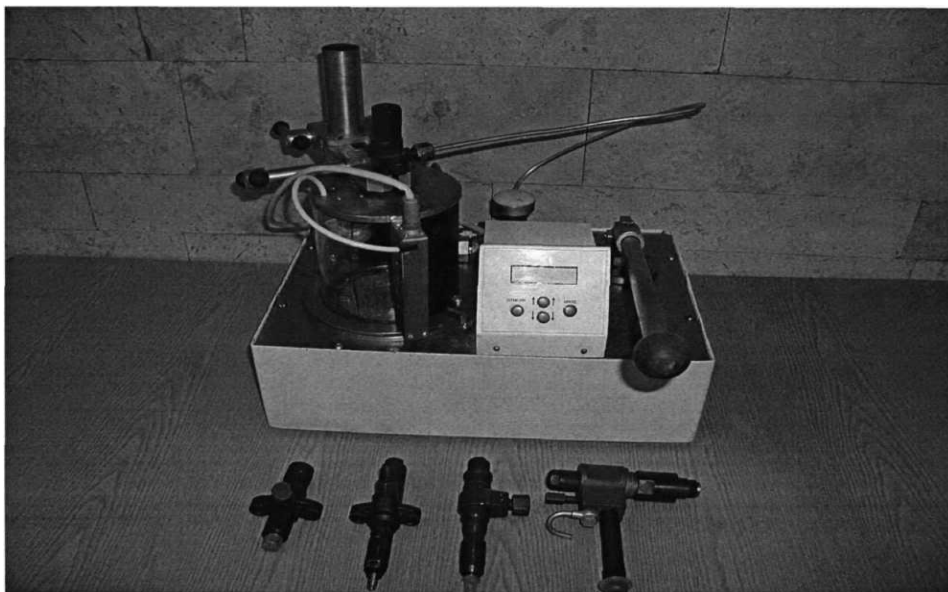
На рис. 3.2, *a* показаний розроблений з урахуванням наших пропозицій прилад для перевірки та регулювання форсунок.

Відмінністю від аналогів є наявність контрольного самописця блока

кількісної оцінки параметрів розпилюючої паливної форсунки (кут розсіювання розпилюючої паливної форсунки відносно осі розпилювача). Функціональна схема пристрою наведена на рис. 3.3, б. Основою оцінки параметрів струменя розпиленого палива є оптико-проекційний метод вимірювання геометричних розмірів. вузький спрямований пучок випромінювання, спрямований перпендикулярно до осі розпилювальної форсунки на відстані (L) від кінчика розпилювальної форсунки. У момент уприскування палива інжектором відбувається дифузне відбиття лазерного променя від мікрокрапель розпиленого палива. При цьому загоряються лінії (а) і (б), утворені перетином лазерного променя з конусом розпиленого палива. Відображення мікрокрапель розпиленого палива вловлюється світлочутливою проекційною лінією та передається на електронний блок виявлення та відображення. Мікропроцесорний модуль блоку зчитує дискретний сигнал з АЦП і обчислює значення розмірів (а) і (б). Асиметрія конуса розпилення розпиленого палива (λ) визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{a-b}{a+b} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де a і c - довжини ліній від поперечного перерізу конуса розпиленого палива до осі розпилювача, мм.



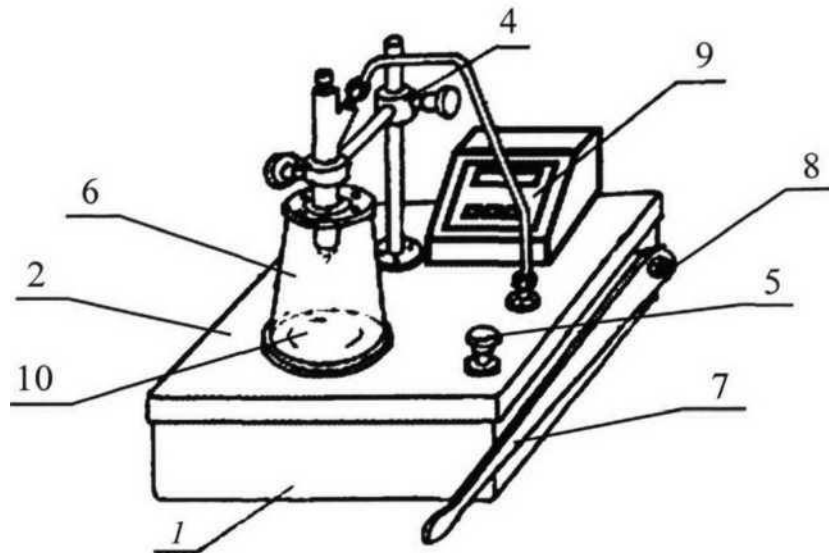


Рис.. 3.2. Прилад для перевірки та регулювання форсунок: а) загальний вигляд; б) функціональна схема.

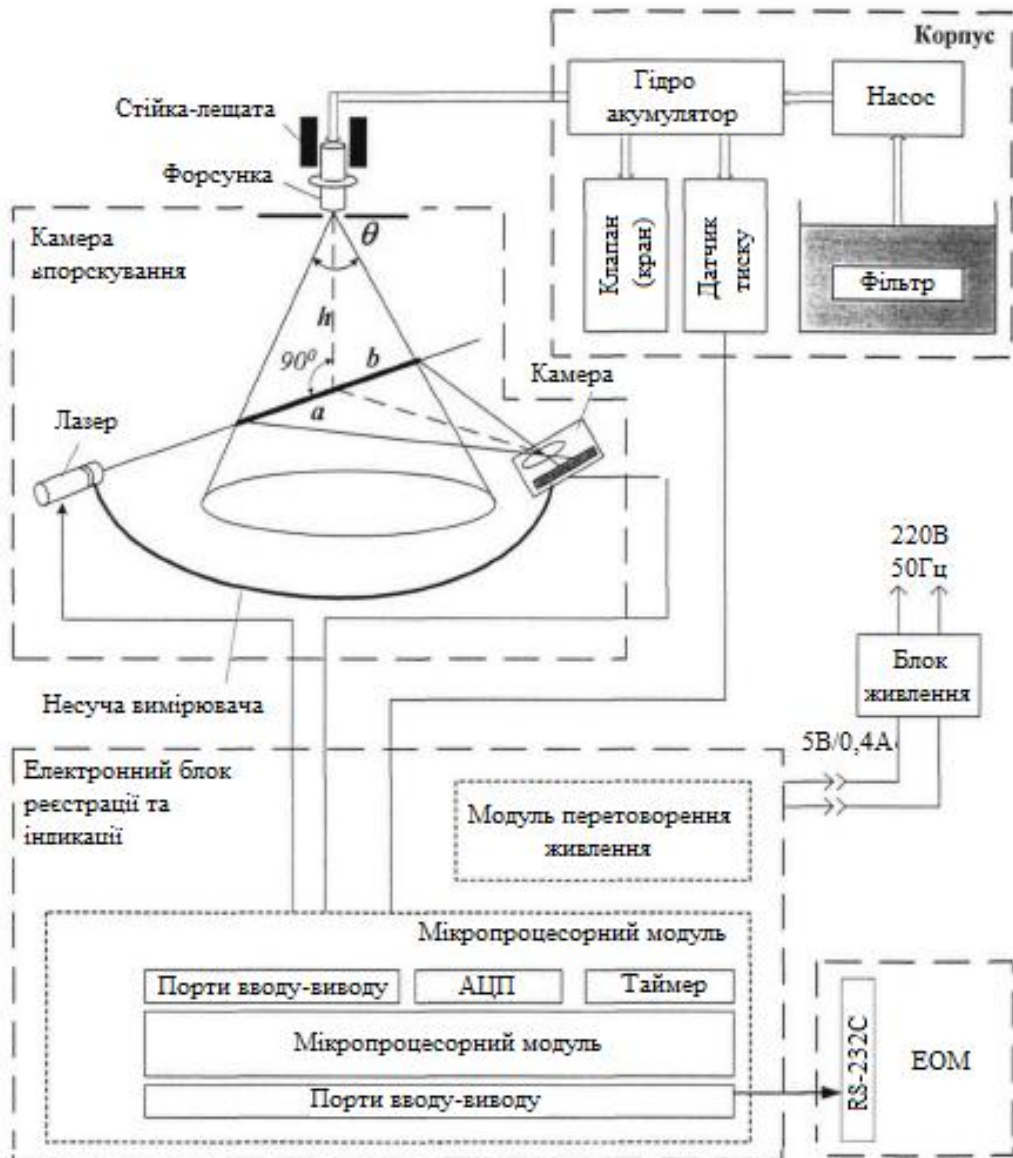


Рис.. 3.3. Функціональна схема приладу, що розробляється

Точність визначення симетрії конуса розпилювальної струменя палива визначається похибкою вимірювання розмірів (a) і (b). Залежно від конструкції приладу ця похибка визначається кількістю фотоелементів лінії проекції та діапазоном вимірювання. $a_{\max} + b_{\max}$ за формулою:

$$\Delta = \frac{a_{\max} + b_{\max}}{n}, \quad (3.2)$$

де n - кількість фотоелементів в лінії проекції .

Точність визначення кута розсіювання струменя палива, що розпилюється, відносно осі розпилювача визначається за формулою:

$$\Delta\varphi = \arctg\left(\frac{a_{\max} + b_{\max}}{n \cdot h}\right). \quad (3.3)$$

Експериментальними дослідженнями встановлено що похибка вимірювання симетрії конуса розпиленого палива для лінії проекції з 256 елементів при $a_{\max} + b_{\max} = 200$ мм склала 0,78 мм, а точність при $h = 100$ мм склала 0,44 °.

Модернізований прилад включає нове конструктивне рішення інжекторної камери, корпусу, блоку електронної реєстрації та відображення результатів досліджень у цифровому вигляді.

Прилад призначений для перевірки і регулювання всього асортименту побутових насадок зі штифтовими і штифтовими насадками і дозволяє перевіряти наступні параметри:

- 1 початковий тиск вприскування палива;
- 2 якість розпилення палива;
- 3 рухливість голки розпилювача;
- 4 герметичність розпилювача на замикаючому конусі, герметичність зовнішніх поверхонь форсунки та гідравлічну щільність розпилювача.

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

НІ н/п	Назва показника, одиниця вимірювання	Значення показника
1	Тип	настільний з ручним приводом
2	Діапазон відтворюваного тиску, МПа (кгс/см ²)	0...40 (0..400)
3	Об'єм гідроаккумулятора і паливних каналів , см ³	65±5
4	Межа допустимої основної сумісної похибки вимірювання тиску, %	±1
5	Швидкість подачі за хід, см ³ (мм ³)/цикл, не менше	1,1 (700)
6	Швидкість вимірювання, кількість вимірювань/ с	3
7	Індикація вимірювань	цифровий
8	Герметичність приладу, падіння тиску за 30 секунд, кгс / см ² , не більше	10
9	Контроль якості вприскування палива	світловий
10	Джерело змінного струму: – напруга, В – Частота, Гц	220 50
11	Встановлена потужність, Вт	3
12	Зусилля рукоятки, не більше, кг	20
13	Ємність паливного баку, л	4
14	Хід рукоятки, град	30
15	Габаритні розміри без ручки, мм, не більше	460x230x350
16	Маса (без палива), кг, не більше	25
17	Чисельність обслуговуючого персоналу, чол .	1

Прилад складається з єдиної конструкції, встановленої на верстаку.

Прилад складається з корпусу 1, закритого кришкою 2. До кришки 2 кріпляться такі основні елементи:

3 - лазерний блок (за інжекторною камерою 6), призначений для освітлення зони розпилення палива через сопло з п'ятьма джерелами лазерного випромінювання;

4 - механізм «стійка-лещата» для кріплення досліджуваних насадок. При проектуванні механізму була врахована можливість регулювання насадки без її зняття з приладу;

5 - кран служить для:

- блокування подачі палива до форсунки;
- відкриття подачі палива до форсунки;
- зняття залишкового тиску в системі;

6 – нагнітальна камера з прозорого полімерного матеріалу, призначена для візуального спостереження за пальником розпилювача палива;

7 - важіль ручного приводу насосного елемента;

8 - насос з ручним керуванням, що подає паливо в досліджувану форсунку;

9 - контрольно-реєструючий блок використовується для керування лазерним блоком, встановлення часу під час перевірки герметичності та реєстрації тиску на цифровому дисплеї під час перевірки початку вприскування та герметичності форсунок;

10 - пробка із заливним фільтром.

Усередині корпусу 1, який одночасно виконує функцію паливного бака, розташовані такі елементи пристрою:

1. Клапанна коробка служить для перемикання гідросистеми в такі режими:

- перекривається подача палива до форсунки;
- Відкрити подачу палива до форсунки;
- Залишковий тиск в системі було знижено.

2. Фільтр тонкого очищення палива.

3.2.2. Характеристики досліджуваних насадок

Для дослідницьких цілей були зняті форсунки з дизельних двигунів, що працюють у лісових господарствах та лісогосподарських підприємствах Житомирської області.

Досліджено: 1 - форсунки 11.1112010-39, зняті з двигуна СМД-18, встановленого на тракторі ТДТ-55А, що використовується для трелювання дрібних і середніх лісоматеріалів; 2 - форсунки 261-03, зняті з двигуна ЯМЗ-

2380Д, що встановлюються на автомобілях МАЗ і КрАЗ , широко застосовуються в лісництві та лісовому господарстві; 3 - форсунки М6А1, зняті з двигуна А-03МЛ і встановлені на тракторі ТТ-4М, призначені для перевезення середніх і великих лісоматеріалів на верхній склад, а також для завантаження великогабаритних лісоматеріалів в мобільний склад.

Номінальне значення тиску початку впорскування палива через досліджувані форсунки тракторних дизелів лісогосподарських машин наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Номінальний тиск впорскування досліджуваних форсунок

Марка двигуна	Каталожний номер форсунки	Тиск початку впорскування, МПа
СМД-18	11.1112010-39	17,5...18,0
ЯМЗ-238Д	261-03	21,0...21,8
А-01М/01МЛ	М6А1	17,5...18,0

Методика дослідження базується на чинних ГОСТах, ТУ, РТМ [27,30,35,44].

Форсунки служать для впорскування в камери згоряння дизельного двигуна дозованої кількості палива під високим тиском і в дрібнорозпиленому стані. Розпилене паливо має рівномірно розподілитися по поперечному перерізу струменя, а розпилювач повинен забезпечувати оптимальний напрямок струменя залежно від типу та форми камери згоряння.

Форсунка (рис. 3.4.) складається з корпусу 4, до нижнього кінця якого гайкою кріпиться розпилювач, що складається з корпусу 7 і голки 2 . Розпилювач фіксується відносно корпусу форсунки двома опорними штифтами. Голка розпилювача пружиною 6 за допомогою штока 12 притискається до замикаючого конуса корпусу розпилювача; зусилля пружини регулюється гвинтом 11, який вкручується в гайку 8. Від самовідкручування регулювального гвинта запобігає контргайка 10.

Ущільнення між корпусом форсунки 4 і кришкою 9 забезпечується прокладкою 7. Для кріплення до головки блоку циліндрів корпус форсунки має фланець з отворами для шпильок.

Від насоса високого тиску паливо надходить у внутрішню порожнину корпусу розпилювача форсунки через з'єднувач 5, який угвинчується в різьбовий отвір корпусу, в якому встановлений сітчастий фільтр для очищення палива від домішок. Коли тиск палива в корпусі перевищує силу пружини 6, голка розпилювача піднімається, паливо надходить в отвори розпилювача і впорскується через них у камеру згоряння у вигляді конуса з дрібнорозпилених частинок. При впорскуванні порції палива тиск в порожнині корпусу розпилювача різко падає і голка розпилювача під дією пружини опускається вниз, перекриваючи доступ палива до отворів розпилювача і тим самим припиняючи подачу палива в циліндр двигуна. Паливо, що витекло через зазор між голкою і корпусом форсунки, видаляється з форсунки через отвір у ковпачку 9.

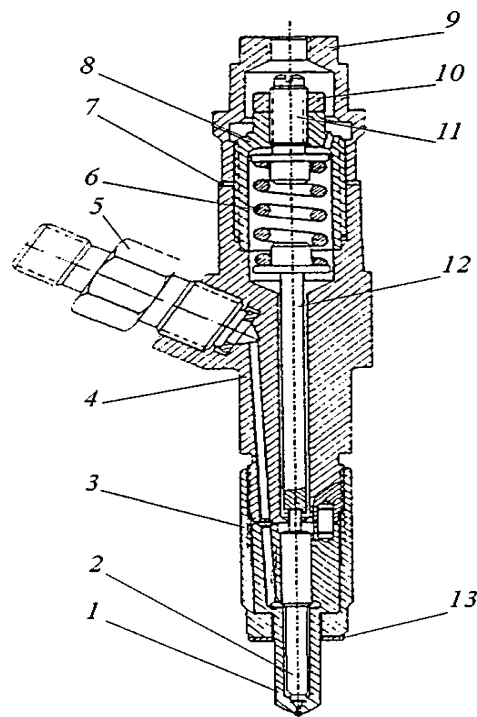


Рис. 3.4. Будова форсунки: 1 - корпус розпилювача; 2 - голка розпилювача ; 3 - гайка розпилювача; 4 - корпус форсунки; 5 - штуцер для підключення паливопроводу ; 6 - пружина; 7, 13 - ущільнення; 8 - пружинна гайка; 9 - ковпачок; 10 - контргайка; 11 - регулювальний гвинт; 12 -

стрижень.

3.2.3. Методика перевірки форсунок на розробленому приладі

а) Опис приладу

Розглянемо роботу приладу за функціональною схемою, яка складається з 3 основних блоків:

- випробувальний блок;
- керовано-реєстраційний блок;
- живлення.

Режим визначення тиску початку впорскування палива.

Увімкніть прилад, підключивши джерело живлення до мережі 220 В , 50 Гц .

Встановіть форсунку, що перевіряється, на прилад і підключіть його до паливопроводу.

Закрийте кран 5, повернувши його за годинниковою стрілкою.

На передній панелі блоку контролю та реєстрації (рис. 3.5) натисніть кнопку вибору режиму * для вибору режиму визначення початку впорскування палива, який можна контролювати появою символу в четвертій нижній цифрі дисплея.

За допомогою важеля механізму ручного приводу насосного елемента починаємо подачу палива в гідроаккумулятор. Тиск палива в гідроаккумуляторі вимірюється датчиком тиску і записується на три верхні цифри 4-розрядного цифрового дисплея. Коли тиск підвищується до значення, рівного тиску на початку впорскування, форсунка активується, а її значення зберігається та відображається на дисплеї. Щоб підвищити точність показань, зробіть кілька ін'єкцій.

Значення тиску, яке відображається на дисплеї в кожному режимі, відображається в одиницях кгс / см² .

Передня панель блоку
керування і реєстрації

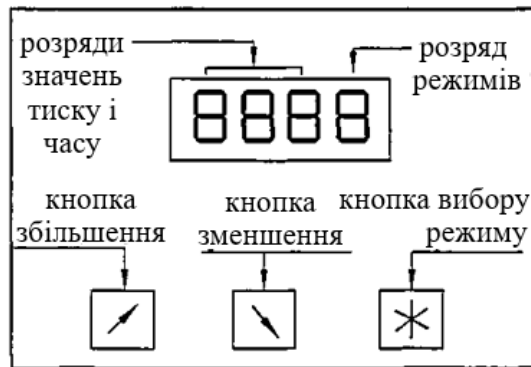


Рис.. 3.5. Блок реєстрації та керування

Спосіб визначення якості розпилення палива і руху розпилювальної голки форсунки

Для визначення якості розпилення палива необхідно виконати всі перераховані в попередньому пункті операції.

Якість розпилення палива візуально спостерігають і оцінюють в інжекторній камері. Для чіткого і якісного спостереження за розпиленням палива в приладі використовується оригінальне підсвічування внутрішньої частини камери упорскування 5 лазерними джерелами. Джерела лазерного освітлення автоматично вмикаються при підвищенні тиску в гідроаккумуляторі під час перекачування.

Якість розпилення палива вважається задовільною, коли паливо, що подається в форсунку зі швидкістю 70-80 ручних качків за хвилину, впорскується в атмосферу в туманному стані і рівномірно розподіляється по поперечному перерізу конуса струменя. Початок і кінець ін'єкції повинні бути чіткими.

Порушення рухливості голки розпилювача визначається поганою якістю розпилення палива.

Після перевірки режимів визначення тиску вприскування і визначення якості розпилення палива, а також рухливості голки форсунки розпилювача необхідно злегка скинути надлишковий тиск палива в гідроаккумуляторі за

допомогою крана і відкрити його. на деякий час.

Тип перевірки пристрою на герметичність.

Режим призначений для усунення похибки, викликаного приладом при перевірці герметичності форсунок, і заснований на вимірюванні величини перепаду тиску в закритій системі, що перевіряється, за певний проміжок часу.

Після підключення пристрою до джерела живлення відкрийте кран подачі води, повернувши його проти годинникової стрілки.

На передній панелі блоку контролю та реєстрації натисканням кнопки «Вибір режиму» вибирається режим перевірки приладу на герметичність, що можна перевірити по появі символу в нижньому розряді дисплея. На старших цифрах відображаються символи, що вказують на наближення фактичного тиску в системі (див. рис. 3.5).

Поява символів EAR на дисплеї свідчить про високий тиск в апараті. У цьому випадку необхідно повторити процедуру для відновлення залишкового тиску в системі за допомогою крана.

Насосний елемент вручну приводиться в рух для підвищення тиску в гідросистемі приладу до заданого значення. Час порівняння фактичного тиску із заданим значенням регулюється появою 3-х рисок у старших розрядах дисплея (див. рис. 3.5).

З моменту порівняння починається відлік часу витримки під час тесту на герметичність (30 секунд), який фіксується на 3-х старших цифрах дисплея.

У випадку, якщо фактичний тиск під час закачування перевищує тиск приладу, відлік починається із затримкою через природне падіння тиску в системі до заданого значення.

Після закінчення часу витримки на дисплеї миготить значення перепаду тиску в перевірній системі, яке використовується для оцінки герметичності пристрою.

Допустимий перепад тиску при перевірці приладу на герметичність не

більше 10 кгс/см^2 .

За результатами перевірки в блоці управління автоматично розраховується поправочний коефіцієнт і заноситься в пам'ять приладу, що враховується при перевірці форсунок на герметичність.

Значення поправочного коефіцієнта зберігається в пам'яті до наступної перевірки пристрою на герметичність.

Спосіб перевірки форсунки на герметичність розпилювача на упорному конусі, герметичність зовнішніх поверхонь і гідравлічну герметичність розпилювача.

Режим заснований на вимірюванні величини перепаду тиску в форсунці за певний проміжок часу.

Після підключення приладу до джерела живлення зніміть залишковий тиск за допомогою вентиля, встановіть на прилад перевірену форсунку і підключіть її до паливопроводу.

Закрийте кран, повернувши його за годинниковою стрілкою.

Натисніть кнопку «Вибір режиму» на передній панелі блоку контролю та реєстрації для вибору режиму налаштування часу перевірки на герметичність, яким можна керувати появою відповідного символу в нижньому розряді дисплея.

Натисканням кнопок вгору та вниз встановлюється час витримки для перевірки герметичності, який можна перевірити на цифровому дисплеї.

Встановіть режим налаштування тиску, натиснувши кнопку «Вибір режиму» під час перевірки на герметичність, і перевірте, чи з'явився відповідний символ у нижній цифрі дисплея. Натисніть кнопки збільшення та зменшення, щоб установити налаштування тиску в системі пристрою.

Після натискання кнопки «Вибір режиму» виберіть режим перевірки герметичності інжектора та перевірте, чи з'явилися відповідні символи у нижньому та верхньому розрядах дисплея. Якщо на дисплеї з'являються символи EAR, необхідно повторити процедуру, щоб скинути залишковий тиск у системі через кран.

Вручну за допомогою насосного елемента підвищити тиск в гідросистемі пристрою до заданого значення. Момент порівняння фактичного тиску із заданим значенням регулюється появою 3-х рисок у старших розрядах дисплея (рис. 3.5).

З моменту порівняння починається відлік часу витримки при перевірці інжектора на герметичність, який фіксується на 3-х старших цифрах дисплея.

У разі, якщо фактичний тиск перевищує задане значення під час його нарощування, відлік часу витримки починається із затримкою внаслідок природного падіння тиску в гідросистемі до заданого значення.

Після закінчення часу витримки на дисплеї миготить значення перепаду тиску, яке використовується для оцінки герметичності форсунки.

Значення параметрів тиску при перевірці форсунок на герметичність встановлюють на 10...15 кгс/см² нижче тиску на початку впорскування.

Значення часу витримки під час тесту встановлюється індивідуально для кожного типу форсунки.

Перевірка герметичності форсунки вважається нормальною, якщо перепад тиску в форсунці під час витримки не перевищує значення, встановленого для відповідного типу.

б) Методи визначення діагностичних параметрів.

Визначення гідрощільності

Перевірте на приладі гідравлічну герметичність патрубків, створивши в ньому тиск 35,0 МПа і відзначте тривалість падіння тиску до 30,0 МПа.

Визначення початкового тиску впорскування

Перевірте пусковий тиск уприскування палива на пристрої.

Номінальне значення пускового тиску уприскування палива на форсунках регулюється регулювальним гвинтом поворотом гвинта при знятій кришці форсунки і відкритою контргайці.

При закручуванні гвинта тиск збільшується, а при ослабленні – зменшується. Один оберт шнека в середньому відповідає зміні тиску на 5,0 МПа. Після регулювання гвинт фіксується контргайкою.

Тиск на початку впорскування палива в форсунках з регулювальними шайбами регулюють шляхом зняття або підкладання пакета шайб під пружину форсунки. Регулювання виконується зі знятою гайкою розпилювача, прокладкою, штоком і пружиною. Зі збільшенням загальної товщини пакета регулювальних шайб тиск зростає. Зміна товщини пакета шайб на 0,05 мм призводить до зміни тиску початку впорскування палива на 0,3...0,35 МПа. Кількість встановлених шайб не повинно перевищувати трьох.

Визначення якості розпилення палива

Якість розпилення палива перевіряють на приладі шляхом плавного переміщення рукоятки приладу для прокачування палива через форсунку, яка встановлена на номінальне значення тиску початку впорскування.

Визначення герметичності замикаючого конуса

Перевірка герметичності конуса закриття розпилювача на приладі здійснюється прокачуванням палива через форсунку, встановлену на тиск на 1,0...1,5 МПа нижче номінального значення тиску початку впорскування палива.

Інші форсунки також були протестовані на існуючому пристрої, а потім порівняні.

3.2.4. Методика дослідження технічного стану форсунок

Технічний стан дизельних форсунок досліджено за показниками відмов і дефектів вузлів. Окрім розподілу несправностей, також були проаналізовані причини їх виникнення та вплив на продуктивність форсунок (детально в розділі 4.1).

3.2.5. Методика обробки результатів випробувань форсунок дизеля

Порядок обробки результатів вимірювання гідрощільності форсунок на існуючому та розробленому приладі описано в п. 4.2.1.

Результати вимірювання тиску початку впорскування палива форсунок

оброблені на персональному комп'ютері за допомогою програми StataVisor.

3.3. Висновки до розділу

1. Розроблено програму наукових досліджень щодо підвищення якості випробувань дизельних паливних форсунок лісогосподарських машин.
2. Розроблено методику випробування форсунок за допомогою модернізованого приладу.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Аналіз технічного стану форсунок дизелів лісогосподарських машин

Для аналізу технічного стану форсунок досліджено дизелі лісогосподарських машин, що використовуються в лісогосподарських підприємствах Житомирської області. Загальна кількість тракторів, які беруть участь у дослідженні, становить 8 одиниць. 4.1.

Таблиця 4.1

Розподіл відмов між системами трактора

назва системи	Відсоток відмов, % від загальної кількості
Двигун	28,5
Трансмісія	5,5
Шасі	13
Гідравлічне обладнання	12
Електрообладнання	16
Механізм управління	25

Аналіз показує, що найбільше відмов виникає в двигунах (табл. 4.2).

Розподіл відмов двигунів обстежених лісогосподарських машин у лісових регіонах

Таблиця 4.2

Розподіл несправностей за системами двигуна

Назва системи	Відсоток відмов, % від загальної кількості
кривошипно- шатунний механізм	20
система мащення	14
паливна система	42
електрообладнання	16
система запуску	6
інші	2

Аналіз отриманих даних показує, що частка паливної системи в досліджуваних тракторах відповідає за найбільшу кількість відмов. Серед поломок паливної апаратури на форсунки припадає 15-20%.

Вивчивши технічний стан форсунок, можна виявити наступні основні несправності (дефекти):

- зниження початкового тиску вприскування палива;
- закоксовка розпилювальних отворів в корпусі розпилювача;
- знос отворів розпилювача в корпусі розпилювача;
- негерметичність розпилювача на закриваючому конусі;
- знос циліндричних поверхонь голки та корпусу розпилювача;
- підвисання голки розпилювача в корпусі;
- збільшення ходу голки розпилювача.

Ці несправності в основному пов'язані з дефектами форсунок розпилювачів. Аналіз розпилювальних форсунок, які надійшли на ремонтні заводи та ремонтні майстерні лісогосподарських підприємств Житомирської області, показав, що основним їх дефектом є закоксовування отворів форсунок. Розподіл основних дефектів наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Розповсюдження дефектів форсунок дизельного палива
лісогосподарських машин

Назва помилки	Кількість	
	шт.	%
закоксовка отворів форсунок	73	38,4
зависання голки в корпусі	52	27,4
граничний знос поверхонь «голка-корпус»	30	15,8
пошкодження розпилювачів через неправильний монтаж	35	18,4

Закоксовка отворів розпилювача є результатом природних фізико-хімічних процесів, що відбуваються в паливі під впливом висока температура в соплі розпилювача і нестача кисню. Дослідження атомайзерів і результати

інших дослідників показують, що на інтенсивність утворення сажі впливають такі фактори:

- хімічний склад палива;
- величина зазору між соплом розпилювача і головкою дизеля;
- додаткове вприскування палива, витік палива через нещільності по конусу голки форсунки, проникнення продуктів згоряння всередину корпусу форсунки;
- падіння тиску під голкою розпилювача, коли голка починає сідати, що призводить до падіння тиску на завершальній фазі вприску.

У міру утворення нагару в розпилювачах діаметр отворів розпилювача зменшується, тобто зменшується ефективний переріз розпилювачів. В результаті через форсунки в циліндри двигуна вприскується менше палива і порушується рівномірність подачі палива в циліндри. При цьому дизельний двигун починає працювати нерівномірно і його продуктивність знижується.

Встановлено, що закоксовування досліджуваних форсунок є поширеним дефектом, який значно знижує надійність паливної апаратури. Тому багато вчених рекомендують підтримувати безаварійну роботу форсунок дизеля з метою запобігання їх закоксовування не пізніше ніж через 500 годин роботи дизеля, тобто в режимі ТО-2.

Закоксовування отворів форсунок вимагає використання ефективних методів і засобів для очищення від нагару форсунок, які використовуються під час технічного обслуговування дизельних двигунів. Цей аспект було враховано при розробці технології ремонту та обслуговування форсунок [75].

Як показало вивчення деталей, зависання голки розпилювача відбувається через потрапляння дрібних (механічних) частинок палива в зазор між голкою і корпусом розпилювача; наявність фреттинг-корозії; деформація корпусу розпилювача внаслідок монтажних зусиль. При кріпленні розпилювача до корпусу форсунки за допомогою гайки або при кріпленні форсунки до головки двигуна може виникнути деформація корпусу розпилювача. Як відзначають деякі дослідники, деформація розпилювача під

дією цих факторів може досягати 3-5 мкм , а кривизна осі розпилювача – 5-25 мкм [51, 73].

Якщо стрілка зависає у верхньому (відкритому) положенні через підвищену витрату палива, порушуються процеси сумішоутворення і горіння. Зависання стрілки в нижньому (закритому) положенні призводить до відсутності подачі палива в циліндри двигуна, внаслідок чого різко знижується частота обертання колінчастого вала і створюється високий тиск в паливній системі, що може призвести до появи тріщини в деталях бензонасоса. Для запобігання деформації корпусу розпилювача регулюється момент затягування гайки розпилювача, що враховано нами при розробці технологічної документації з технічного обслуговування та ремонту паливної апаратури дизелів [95].

Розпилювальні отвори зрошувачів характеризуються розміром ефективного прохідного перерізу, який змінюється в процесі роботи в залежності від часу роботи. Наші дослідження показали, що на початковому етапі роботи інжектора (приблизно до 1500 мотогодин) початкове значення ефективного перерізу витрати розпилювача зменшується через закоксовування отворів розпилювача, яке часто відбувається під час обкатки. деталі дизельного двигуна. У подальшій експлуатації процес гідроабразивного зношування та кавітаційної ерозії переважає над зміною набризкових отворів. В результаті діаметр отворів збільшується і перевищує допустимі межі. Такі дірки спостерігалися в форсунках дизельних двигунів, які мали близько 2000-2500 годин роботи .

Механізм зміни діаметра отворів розпилювача в умовах експлуатації зумовлений наявністю в паливі абразивних частинок. Через погану фільтрацію палива абразивні частинки під час уприскування зношують отвори розпилювача в корпусі розпилювача. В результаті збільшується діаметр розпилювальних отворів і розмір прохідного перерізу, утруднюється запуск дизеля, а його робота супроводжується чорними задимленими вихлопними газами. Про це вказується в багатьох джерелах [4, 46, 73].

За рахунок гідроабразивної дії палива порушується герметичність замикаючого конуса.

Тверді механічні частинки, проникаючи разом з паливом під розпилювальну голку, викликають утворення слідів на поверхнях замикаючого конуса голки. Внаслідок підвищеного зносу цих поверхонь порушується герметичність розпилювача по замикаючому конусу, на соплі розпилювача утворюються краплі палива (паливо не розбризкується). Негерметичність форсунки призводить до неповного згоряння палива, внаслідок чого збільшується утворення сажі в камері згоряння і збільшується питома витрата палива. У міру зношування замикаючого конуса корпусу форсунки (збільшення підйому голки) і зменшення початкового тиску пружини на голку це призводить до збільшення кількості палива, що впорскується в циліндри двигуна.

Як показали наші дослідження дизельних форсунок лісогосподарських машин, поширеним дефектом є зношування циліндричних поверхонь корпусу та голки розпилювача. У прецизійній парі «голка розпилювача-корпус розпилювача» зазор між відповідними циліндричними поверхнями становить 2,5 мікрметра. Така конструкція забезпечує рухливість голки розпилювача в корпусі та водонепроникність розпилювача.

Зазор змінюється в процесі роботи внаслідок абразивного зносу сполучених поверхонь циліндра корпусу і голки розпилювача. Знос відбувається в основному через вплив механічних частинок, що містяться в паливі. Зважені в паливі механічні домішки, що рухаються з більшою швидкістю, потрапляють в зазор між голкою і корпусом розпилювача, викликаючи знос їх циліндричних поверхонь. Зі збільшенням діаметрального зазору зменшується гідравлічна щільність розпилювача, тобто здатність сполучених циліндричних поверхонь голки і корпусу розпилювача чинити опір проникненню палива між ними. Зі збільшенням зазору знижується водонепроникність, за рахунок зазору між голкою і корпусом розпилювача збільшуються підтікання палива і збільшується нерівномірність подачі

палива в циліндри двигуна.

Досліджувані форсунки та їх деталі наведені на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Перевірені форсунки та їх деталі: а) форсунка в зборі; б) складальні деталі форсунки.

4.2. Дослідження точності вимірювання тиску на початку впорскування палива форсунками

Для дослідження точності вимірювання тиску початку впорскування випробувано 24 форсунки двигуна ЯМЗ-238Д на штатному та розробленому обладнанні. Результати вимірювань обробляли на ПК за допомогою програми StatadVisor . Отримано такі дані (табл. 4.4).

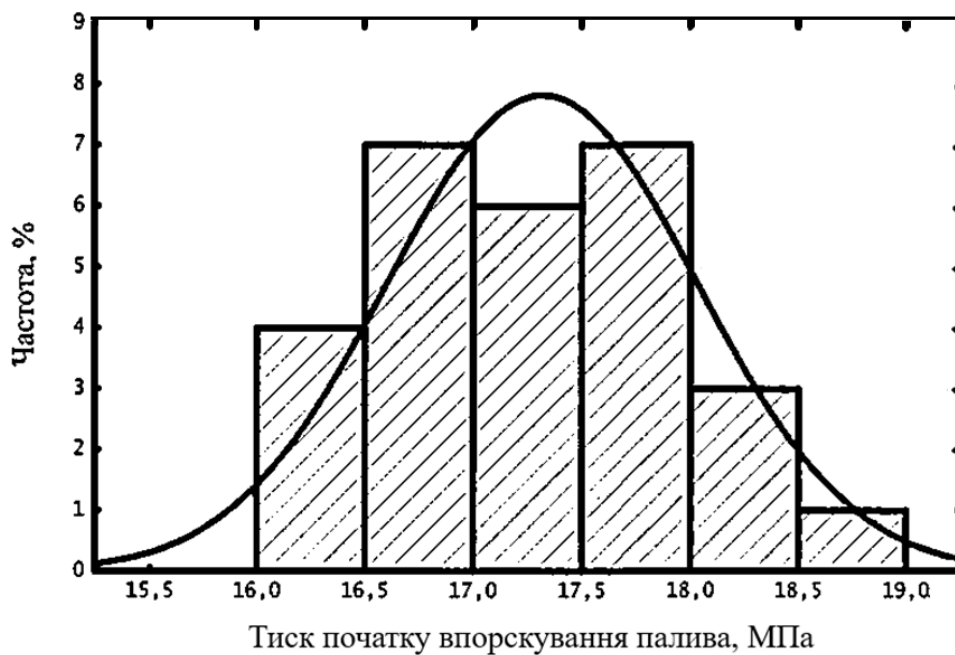
Таблиця 4.4

Результати обробки параметрів форсунки в програмі StatadVisor

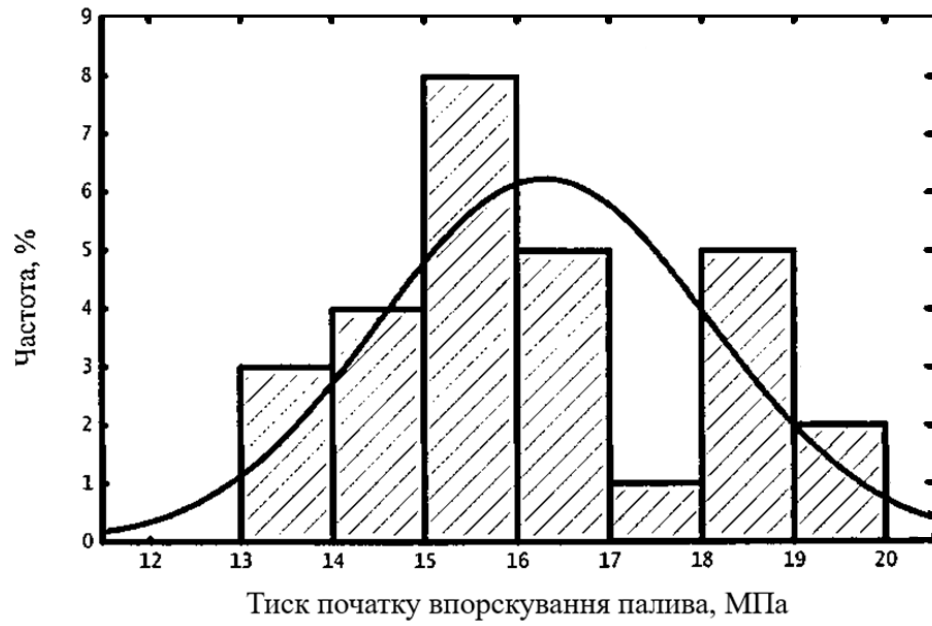
Параметр	Вимірювання на стандартному приладі	Вимірювання на розробленому приладі

Кількість вимірювань, шт.	28	28
Середній тиск, МПа	16,3	17,3179
Медіана, МПа	15,95	17,15
Середнє геометричне, МПа	16,2063	17,3038
Розсіювання	3,20444	0,51041
Стандартне відхилення (середнє квадратичне відхилення), МПа	1,7901	0,71443
Стандартна помилка (середня квадратична помилка)	0,338296	0,135015
Мінімум, МПа	13,1	16,2
Максимум, МПа	19,4	19,0
Діапазон, МПа	6,3	2,8

На рис.4.2 наведено гістограму розподілу тиску на початку впорскування палива форсунками дизеля ЯМЗ-238Д. Розсіювання значень тиску, виміряних на розробленому та існуючому приладі, підпорядковується закону нормального розподілу (рис. 4.3).

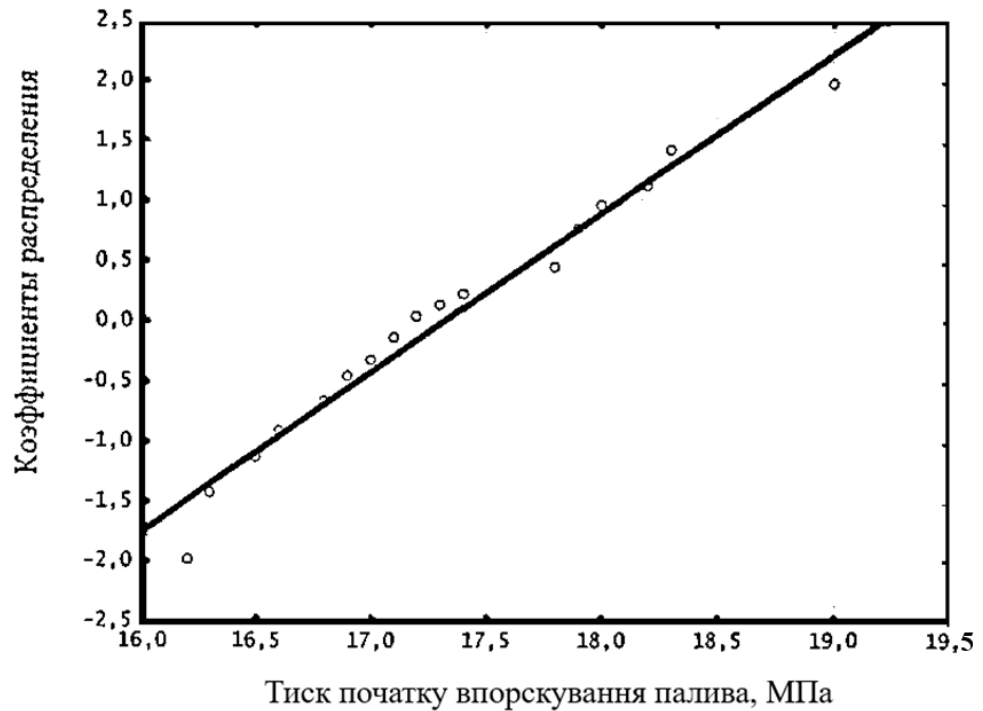


i)



Б)

Рис. 4.2. Гістограма розподілу тиску на початку впорскування палива: *a* - вимірювання на розробленому приладі; *б* - вимірювання на стандартному приладі.



і)

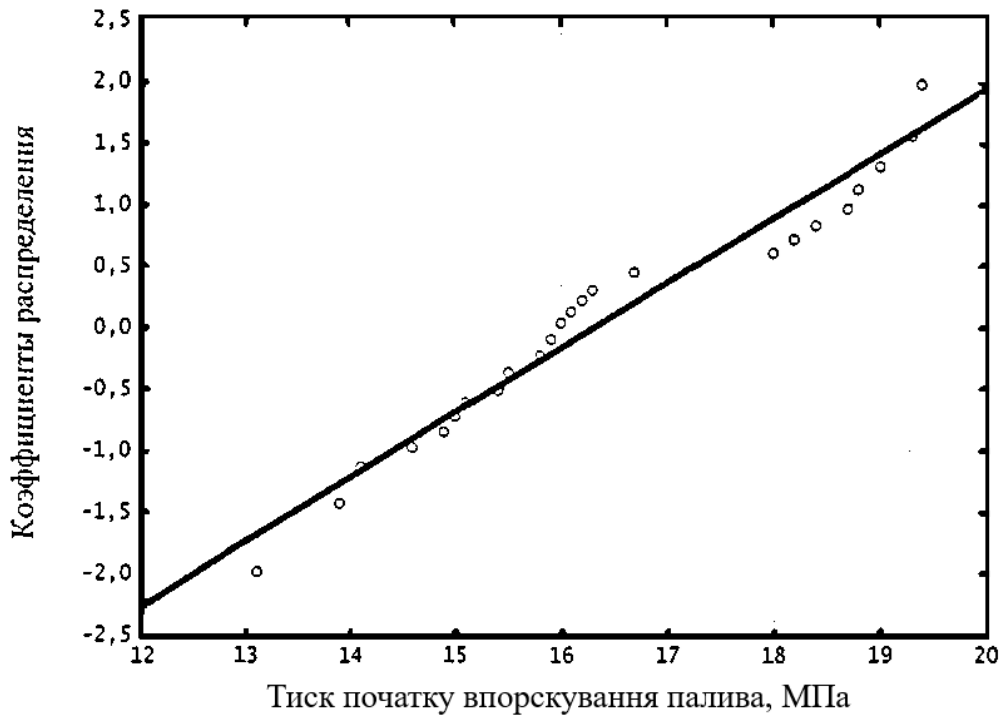


Рис. 4.3. Перевірка закону розподілу вимірюваного тиску: *a* - розроблений прилад; *б* - стандартний прилад.

Таким чином, інтервал діапазону результатів вимірювання тиску початку впорскування палива форсункою становить 6,3 МПа для стандартного приладу та 2,8 МПа для розробленого приладу, що підтверджує його більш високу точність.

4.3. Дослідження зміни діагностичних параметрів форсунок від напрацювання двигуна

4.3.1. Зміна гідрощільності розпилювачів форсунок

Гідрощільність розпилювачів форсунок вимірювалася на розробленому приладі. Результати досліджень показали, що зі збільшенням часу роботи гідравлічна щільність обприскувачів зменшується, причому особливо різко це знижується в діапазоні 2000-3000 мотогодин. Залежність водонепроникності розпилювальних форсунок деяких дизелів наведена на рис. 4.4. Аналіз залежності показує, що характер зниження гідрощільності форсунок розпилювачів у досліджуваних дизелях практично однаковий. На

це вказували й інші дослідники [52].

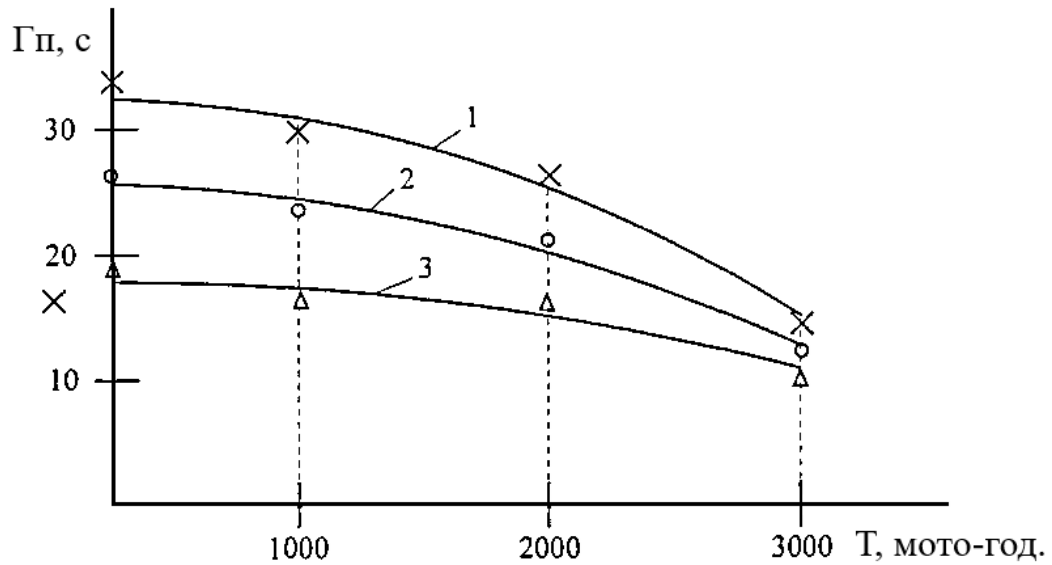


Рис. 4.4. Залежність водонепроникності форсунок розпилювачів від роботи дизелів: 1 - дизель ЯМЗ-238Д, 2 - дизель А-03МЛ; 3-дизель СМД-18

Отримано закономірності зміни інтервалу дисперсії гідрощільності розпилювальних форсунок залежно від напрацювання. Встановлено, що цей інтервал збільшується зі збільшенням робочого часу. Крім того, інтенсивність збільшення інтервалу дисперсії гідравлічної щільності, виміряної стандартним приладом, є вищою, ніж у розробленого приладу (рис. 4.5).

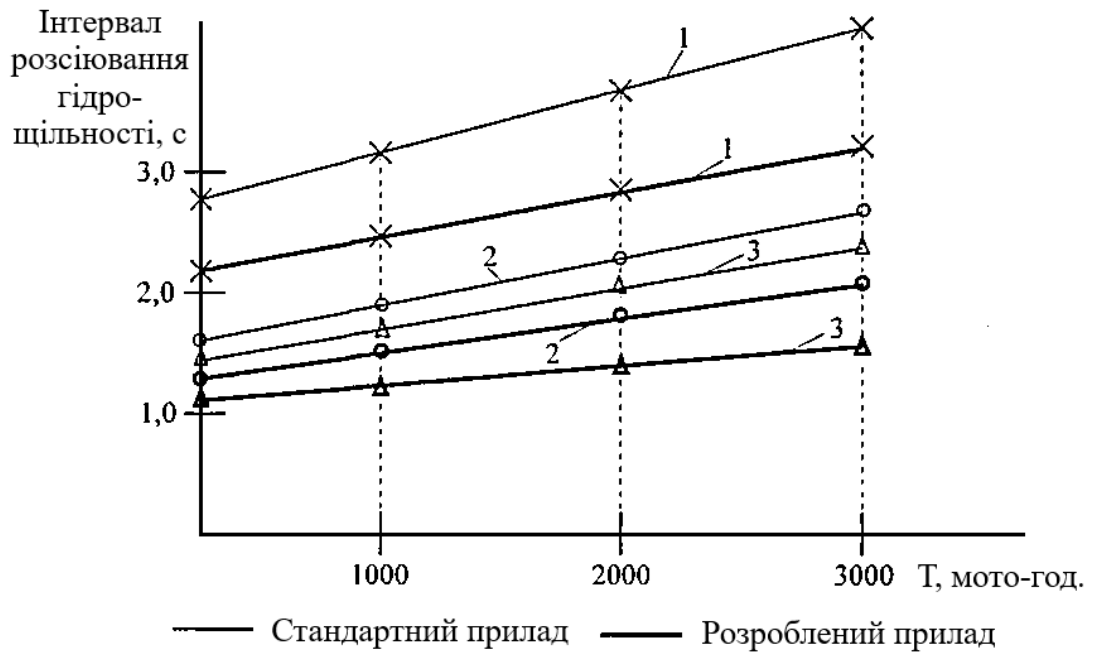


Рис. 4.5. Залежність інтервалу розсіювання гідроцильності розпилювачів форсунок дизеля від часу роботи: 1 - дизель ЯМЗ-238Д; 2 - дизель А-03МЛ; 3 – дизель СМД-18

4.3.2. Зміна тиску початку впорскування палива форсункою

Впорскування палива через форсунку здійснюється при регульованому значенні тиску, величина якого повинна залишатися незмінною при різних режимах навантаження і робочих обертах дизеля. Тиск на початку впорскування визначає дальність струменя і розсіювання паливного розпилювача. Перший параметр визначає ступінь охоплення простору камери згоряння струменем палива, тобто визначає якість мікроперемішування паливно-повітряної суміші. Розподіл розпорошеного палива визначає динаміку випаровування палива, що в свою чергу визначає ефективність його згоряння.

Під час роботи дизеля лісогосподарських машин залежно від напрацювання знижується тиск на початку впорскування палива через форсунки за рахунок припрацювання контактних поверхонь деталей і усадки пружини. Спостереження показали, що найбільш виражене падіння тиску відбувається в перші 1000 годин роботи нової форсунки. Пізніше, приблизно

в інтервалі 1000 - 2000 мотогодин, значення тиску стабілізується і відбувається більш повільне падіння тиску. Зміна тиску на початку впорскування форсунок від наробітку дизелів ЯМЗ-238Д наведена на рис. 4.6.

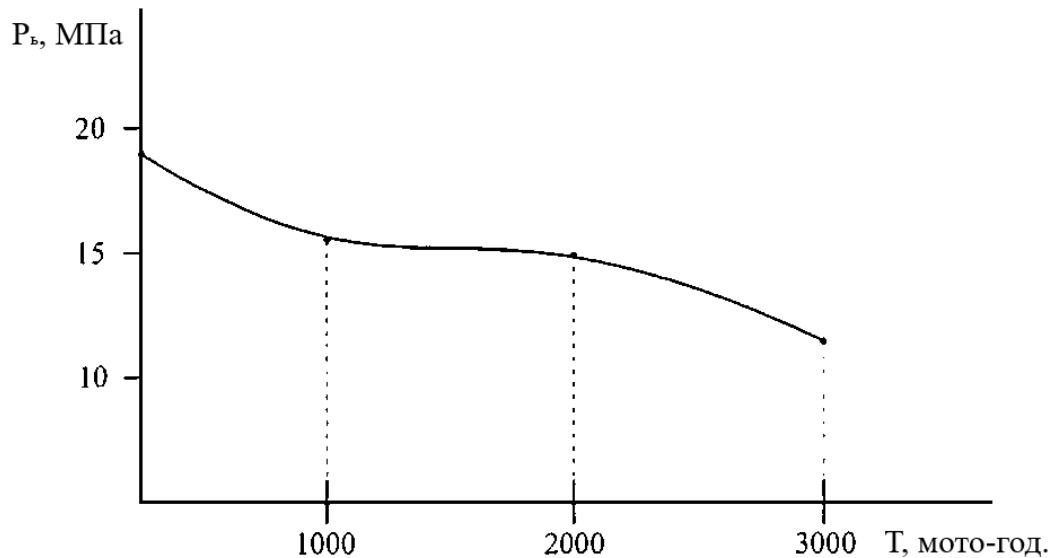


Рис. 4.6. Залежність тиску впорскування форсунок дизеля ЯМЗ-238Д від наробітку

При зниженні тиску на початку впорскування циклічна подача палива і дальність струменя збільшуються, розсіювання струменя зменшується і її випаровування сповільнюється. Наявність великих крапель палива розміром до 200 мкм (нормативне значення - 10-30 мкм і менше) на кінцевій фазі впорскування призводить до неповного згорання палива, що супроводжується збільшенням витрати палива і димоутворенням. вихлопні газу. Було встановлено, що при відхиленні тиску впорскування від номінального значення на 6,0-7,0 МПа витрата палива збільшується на 20-25%. Основними причинами падіння тиску на початку впорскування палива в форсунки є:

- зношення зовнішніх витків пружини;
- зношення сферичної поверхні штока, що контактує з валом голки розпилювача;
- знос спряженої опорної поверхні регулювального гвинта;

- знос запірного конуса корпусу розпилювача.

Закономірності часових змін тиску на початку впорскування палива є основою для доцільності регулювання інтервалів міжрегулювання форсунок дизельних двигунів лісогосподарських машин.

Для цих форсунок визначено закономірність інтервалу розсіювання значень тиску на початку впорскування палива від наробітку (рис. 4.7).

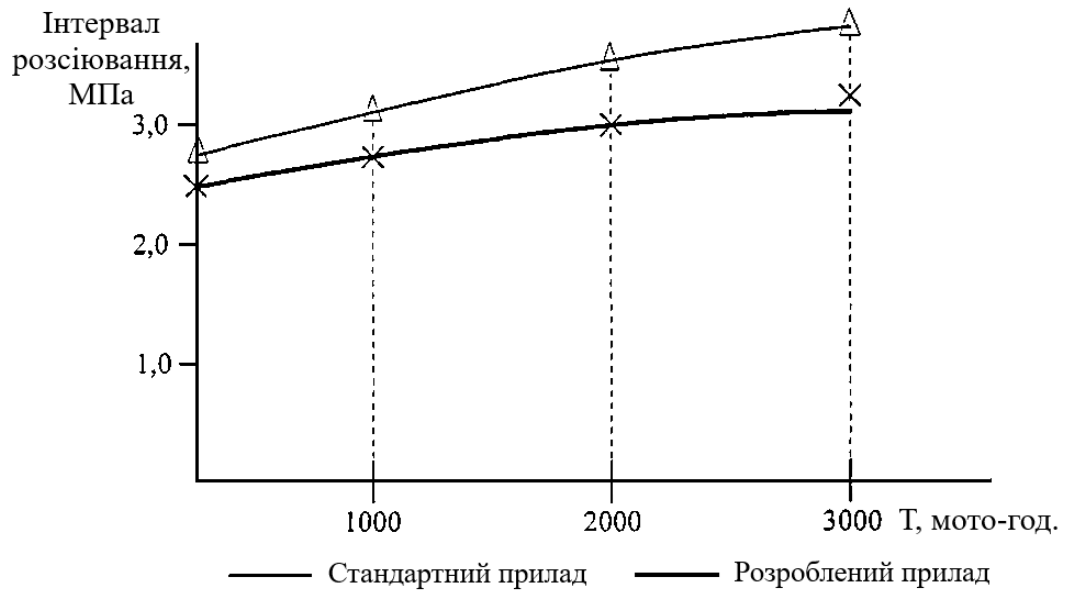


Рис. 4.7. Залежність інтервалу розсіювання значень тиску початку впорскування палива форсунками від напрацювання дизелів ЯМЗ-238Д.

4.4. Результати експлуатаційних випробувань форсунок

Для проведення випробувань форсунки дизелів ЯМЗ-238Д, А-03МЛ та СМД-18, які були відремонтовані та випробувані на розробленому приладі та налагоджені на номінальні параметри, встановлювали на трактори ТДТ-55А, ТТ-4М та вантажівок КРАЗ які експлуатувалися у Коростишівському та Малинському лісгоспах Житомирської області.

Для трелювання, підготовки ґрунту та смуг використовувався трактор ТДТ-55А (рис. 4.8).



Рис. 4.14. Гусеничний трактор ТДТ-55А

Для трелювання використовується трактор ТТ-4М (рис. 4.9)



Рис. 4.9. Гусеничний трактор ТТ-4М

Використовувалися також лісовози КрАЗ-255Л1 для вивезення деревини (рис. 4.10).



Рис.. 4.10. Лісовоз КрАЗ-255Л1

Після 1000 ± 50 мотогодин трактори та автомобілі були здані на технічне обслуговування ТО-2. Форсунки дизельних двигунів цих тракторів і автомобілів були зняті (всього 36 шт.) і випробувані на розробленому приладі згідно з існуючими технологіями випробувань і налагодження, рекомендованими ГОСНИТА. За технологією виміряно параметр – тиск початку впорскування. Результати зведені в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Марка двигуна	Номер форсунки		иск впорскування,	
			МПа	
ЯМЗ-238Д	1	5	19,8	19,0
-//-	2	6	19,0	19,2
-//-	3	7	19,3	19,6
-//-	4	8		19,3
А03МЛ	1	5	16,4	16,2
-//-	2	6	16,8	16,5
-//-	3		17,0	
-//-	4		16,7	
СМД-18	1		16,9	
-//-	2		16,7	

-//-	3		16,3	
-//-	4		17,4	

В результаті експлуатаційних випробувань дизелів з відремонтованими та відрегульованими форсунками на розробленому пристрої встановлено, що параметри початкового тиску впорскування, герметичності форсунок і якості розпилення знаходяться в допустимих межах і залишаються для подальшої експлуатації. Спостереження за експериментальними дизелями показали, що їх витрата палива на 3,8% менше, ніж у стандартних дизелів, а кількість відмов паливної апаратури зменшилася на 10-15%.

4.5. Результати порівняльних досліджень випробувань та регулювання форсунок дизеля

Нами проведено порівняльне дослідження складності випробувань та регулювання форсунок дизелів СМД-18 трактора ТДТ-55А. Дослідження проводили в умовах Коростишівського РММ Житомирського обллісгоспу. Випробування проводив слюсар з ремонту паливної апаратури. Його досвід виконання таких операцій становить 12 років. Замір часу проводили працівники відділу надійності обладнання та спеціалісти РММ. Порівняльні дані по трудомісткості випробувань і регулювання форсунки дизеля СМД-18 наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Трудомісткість випробувань і регулювання дизельних форсунок СМД-18

Параметр	Значення	
	базовий прилад	розроблений прилад
Кількість форсунок перевірено та відрегульовано	6	6
Загальна трудомісткість роботи,	10,56	9,12

Трудомісткість випробування регулювання форсунки, год	i	1,76	1,52
Зменшення трудомісткості випробувань налаштування форсунок, %	i		13,6

Таким чином, трудомісткість, необхідна для перевірки та регулювання форсунок дизеля з розробленим приладом на 13,6 % менше, ніж на базовому приладом.

4.6. Висновки по розділу

1. Понад 28% відмов в обстежених у Житомирській області машин припадає на двигуни лісогосподарських машин, а 20% усіх відмов дизеля – на паливну систему. Більшість несправностей паливної апаратури припадає на форсунки (15-20%).

2. Дослідження форсунок дизельних двигунів лісогосподарських машин показало, що основною несправністю форсунок є зниження тиску на початку вприскування палива та зниження гідрощільності розпилювачів форсунок. Ці несправності здебільшого спричинені закоксовуванням отворів та зносом розпилювачів у корпусі розпилювача. Більш ніж у 38% досліджених форсунок виявлено закоксовування отворів форсунок.

3. Гідрощільність форсунок визначали за напрацюванням дизельних двигунів лісогосподарських машин . Було виявлено, що вона особливо різко знижується після 2000-3000 мотогодин.

4. Визначено залежність тиску на початку вприскування форсунок від напрацювання дизелів лісогосподарських машин. Встановлено, що найбільше зниження цього параметра починається після 1000 мотогодин.

5. Отримано закономірності зміни інтервалів розсіювання діагностичних параметрів (гідрравлічної щільності та тиску початку

вприскування) форсунок внаслідок напрацювання дизеля. Зі збільшенням часу напрацювання цей інтервал збільшується, при цьому інтенсивність інтервалу розсіювання параметра, виміряного розробленим приладом, нижча, ніж виміряного стандартним приладом.

6. Результати експлуатаційних випробувань відремонтованих і відрегульованих дизельних форсунок за запропонованою технологією показали їх високу продуктивність і паливну економічність. Дизелі з експериментальними форсунками споживали на 3,8% менше палива, ніж дизелі зі стандартними форсунками, а кількість відмов паливної апаратури зменшилася на 10-15%.

7. Становлено, що трудомісткість перевірки та регулювань форсунок дизелів СМД-18 тракторів ТДТ-55А з використанням розробленого приладу на 13,6% менша, ніж на стандартному приладі.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1. Технологічні рекомендації щодо усунення несправностей, випробування та регулювання форсунок лісогосподарських машин

Проведені дослідження дозволили розробити технологічний процес обслуговування та ремонту форсунок з використанням розробленого приладу. Він складається з набору операцій, технології виконання яких описані в даній роботі.

1. Промивання та очищення форсунок

Зовнішні поверхні форсунок промивають в цілому у ванні типу ПІМ-640.160 очисним розчином «Лабомід-203» (ТУ 38.30747.001-90) або дизельним паливом. Щоб уникнути забруднення внутрішніх порожнин форсунки, забороняється знімати захисні деталі: пробку з розпилювача, накидну гайку зі штуцера і пробку з кришки форсунки.

Миття прецизійних деталей необхідно проводити в ультразвукових ваннах рециркуляційного типу УЗВ з наступним промиванням в бензині, продуванням стисненим повітрям і змащуванням фільтрованим дизельним паливом [55].

Допускається очищати закриваючий конус голки розпилювача щіткою з латунного дроту, закриваючий конус корпусу розпилювача і канали подачі палива очисними засобами, а розпилювальні отвори наконечника розпилювача - сталевим дротом відповідного зразка. діаметром з комплекту ПІМ-5319 з подальшою промивкою в бензині та змащуванням відфільтрованим дизпаливом.

2. Розбирання форсунок

Демонтаж форсунки здійснюється спеціальним пристроєм типу ПІМ-640.040 або закріпленням її в лещатах з м'якими металевими губками з дотриманням конструктивної технологічної послідовності.

Щоб не пошкодити кріпильні штифти, забороняється відкручувати

гайку розпилювача без попереднього відкручування регулювального гвинта і гайки пружини. Якщо голка застрягла в корпусі розпилювача, затисніть ніжку в лещатах за допомогою м'яких металевих губок і вийміть голку, обертаючи корпус розпилювача.

Корпус розпилювача та голка утворюють точну пару. Розбирання корпусу розпилювача та голки заборонено.

3. Дефектовка форсунки

Несправні та відправляються в ремонт форсунки з наступними дефектами:

- кільцевий знос торця корпусу форсунки;
- поломка регулювальних штифтів;
- тріщини, сколи та злами будь-якого розміру та розташування;
- зминання і поломка більше двох обертів різьби гайки, пружини, ковпачка і роз'єму штуцера;
- задири і риски на торцевій поверхні;
- кольори відпуску та корозія на точних поверхнях корпусу розпилювача та голки.

4. Відновлення рухливості голки

Рухливість голки в корпусі розпилювача відновлюють шляхом нанесення на напрямні поверхні полірувальної пасти АСМ-1/0 НОМ згідно [47, 55] з наступним притиранням голки в корпусі розпилювача. Промивши обприскувач у бензині та змастивши його фільтрованим соляркою, перевірте плавність ходу голки в корпусі обприскувача.

Голка, яка виступає з корпусу розпилювача на 1/3 довжини його циліндричної робочої поверхні, повинна плавно і безперервно опускатися під дією власної ваги при кожному куті повороту навколо своєї осі відносно корпусу розпилювача, який встановлений на кут 45°. Вертикальні місцеві опори, які перешкоджають вільному пересуванню голки, не допускаються.

5. Складання форсунок

Збирання форсунки слід починати з установки розпилювача. Різьбові

з'єднання слід затягувати динамометричним ключем відповідно до значень динамометричного ключа, наведених у таблиці 5.1. Граничні значення моменту затягування кріпильних деталей.

Після затягування гайки розпилювача переконайтеся, що голка рухається плавно. Коли ви струшуєте сопло, ви повинні почути, як голка вдаряється об корпус розпилювача.

Таблиця 5.1

Зусилля затягування елементів кріплення деталей дизельного насоса

Назва частини	Сила затяжки, кгс·м, для дизельних насосів типу:			
	А4ТН, АТНМ, 6ТН	УТН	ЯМЗ	КамАЗ
Гайка розпилювача	9...10	5...7	7...8	7...8
Ковпачок форсунки	9...11	10...11	8...10	-
Штуцер форсунки	12...14	11...12	8...10	10...12

6. Перевірка і регулювання форсунок

Для виконання вимог необхідно провести контрольні випробування форсунок [27], перевіривши:

- тиск початку впорскування;
- рухливість голки розпилювача;
- якість розпилення палива;
- герметичність по запірному конуса розпилювача;
- герметичність ущільнень, з'єднань і зовнішніх поверхонь порожнини сопла високого і низького тиску;
- пропускна здатність форсунки.

Перевірте форсунки на передбачуваному пристрої.

Пропускна здатність насадок - на стенді згідно [44, 58]. Вимоги до точності засобів вимірювань - згідно з технічними умовами та (або) робочими кресленнями на конкретні насадки. Випробування слід проводити на дизельному паливі відповідно до [43] або технологічній рідині. В'язкість палива або технологічної рідини в умовах температурних випробувань -

згідно технічних умов або робочих креслень на конкретні форсунки.

Усі наведені вище технологічні рекомендації впроваджені в РММ лісогосподарських підприємств Житомирської області.

5.2. Економічна ефективність розроблених рекомендацій

Загальний економічний ефект від використання розробленого пристрою (стенду) визначається економією в результаті зниження експлуатаційних витрат і витрати палива за формулою:

$$E_{ЗАГ} = E_E + E_T, \quad (5.1)$$

де E_E – економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат при випробуванні форсунок на розробленому пристрої порівняно з випробуванням на базовому приладі. Це пов'язано зі збільшенням продуктивності та зниженням енергоємності процесу (зменшення експлуатаційних витрат), грн.;

E_T – економічний ефект від зменшення витрати палива на один трактор. Це зумовлено більшою точністю регулювання форсунок за параметрами подачі палива розробленого пристрою, грн.

Річна рентабельність від зниження експлуатаційних витрат при використанні розробленого устаткування визначається згідно з «Методичними вказівками по визначенню рентабельності використання нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій на підприємствах і в організаціях системи Союзільгосптехніки» від 17 березня 1978 р., за формулою:

$$E_E = (C_1 + E_H \cdot K_1) - (C_2 + E_H \cdot K_2) \quad (5.2)$$

де C_1, C_2 - поточні експлуатаційні витрати при використанні основного та розробленого обладнання, грн.;

E_H - нормативний коефіцієнт капітальних вкладень ($E_H = 0,15$);

K_1, K_2 - або капітальні вкладення при використанні основного та модернізованого стенда, грн.

Експлуатаційні витрати на перевірку та регулювання форсунок

розраховуються за формулою:

$$C = Z_{II} + Z_A + Z_P + Z_E + Z_{МП}, \quad (5.3)$$

де Z_{II} - заробітна плата з нарахуваннями слюсаря, грн.;

Z_A - Витрати на амортизацію обладнання, грн.;

Z_P – вартість ремонту та обслуговування приладу, грн.;

Z_E – витрати електроенергії, грн.;

$Z_{МП}$ - вартість метрологічної повірки приладу, грн.

Заробітна плата включає основну та додаткову заробітну плату, а також забезпечення цієї виплати:

$$Z_{II} = Z_O + Z_D + Z_{СОЦ}, \quad (5.4)$$

де Z_O - основна заробітна плата слюсаря-наладчика, грн.;

Z_D - додаткова заробітна плата, включаючи заохочувальні або компенсаційні виплати, грн.;

$Z_{СОЦ}$ - нарахування на соціальні потреби, грн.

Основна заробітна плата розраховується за такою формулою:

$$Z_O = C_T \cdot T_B, \quad (5.5)$$

де C_T - погодинна ставка слюсаря-наладчика (вартість нормо-години), грн.;

T_B - тривалість перевірки та регулювання форсунок, год

Додаткова зарплата розраховується за виразом:

$$Z_D = (Z_O \cdot K_{II})/100, \quad (5.6)$$

де K_{II} – відсоток від посадового окладу ($K_{II} = 8,9$);

До податків належать витрати на соціальні цілі (пенсійний фонд, медичне страхування тощо). Ці податки розраховуються за формулою:

$$C_{СОЦ} = R_{СОЦ}(Z_O + Z_D)/100, \quad (5.7)$$

де $R_{СОЦ}$ - Відрахування на соціальні потреби в зазначеному відсотку (R

$c_{oc} = 25,8$)

Суми амортизації пристрою визначаються за формулою:

$$Z_A = (B_C \cdot a) / 100, \quad (5.8)$$

де B_C – балансова вартість базового або розробленого приладу, грн

a - норма амортизації, %.

Вартість розробленого приладу визначається за формулою:

$$C_{M.C} = C_{BC} + C_{CA} + C_{KD} + C_{PD} + C_{MONT} + C_{HAL} + H_{OP}, \quad (5.9)$$

де C_{BC} - вартість базового пристрою, грн.;

C_{CA} – вартість взаємозамінних одиниць, які можуть бути використані на запчастини або продаж, грн.;

C_{KD} – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

C_{PD} – вартість придбаних деталей і комплектуючих, грн.;

C_{MONT} – вартість монтажних робіт з демонтажу та складання вузлів, грн.;

C_{HAL} – вартість пусконаладжувальних робіт, грн.;

H_{OP} – загальновиробничі накладні витрати, пов'язані з виготовленням обладнання, грн.

Вартість виготовлення корпусних деталей визначається за формулою:

$$C_{KD} = C_M + Z_P, \quad (5.10)$$

де C_M – матеріальні витрати на виготовлення корпусних деталей, грн.;

Z_P - заробітна плата (з нарахуваннями) виробничих робітників, зайнятих на виготовленні корпусних деталей, грн.

Витрати матеріалів визначаються за формулою:

$$C_M = C_M \cdot Q_{KD}, \quad (5.11)$$

де C_M - ціна 1 кг металу, грн.;

Q_{KD} - маса заготовок для виготовлення деталей, кг.

Вартість матеріалів визначається виходячи з норм витрати (зазначених на робочих кресленнях) і ціни за кілограм матеріалу.

Додаткова заробітна плата визначається у фактичному відсотку – 8,9% від основної заробітної плати, відрахування на соціальне страхування у розмірі фіксованого відсотка від основної та додаткової заробітної плати – 25,8%.

Загальновиробничі (цехові) накладні витрати на виготовлення приладу визначають за формулою:

$$H_{OP} = Z_{II} + R_{OP}, \quad (5.12)$$

де Z_{II} – основна заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на виготовленні деталей, грн.;

R_{OP} - відсоток загальновиробничих витрат ($R_{OP} = 150\%$)

Витрати на монтажні та пусконалагоджувальні роботи визначаються за виразом:

$$C_{НАЛ} = C_{ПД} \cdot K_M \quad (5.13)$$

де K_M – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на монтажні та пусконалагоджувальні роботи, $K_M = 0,1$.

Результати підрахувань видів витрат на розробку приладу представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Витрати на розробку приладу

Назви статей витрат	Сума витрат, грн
Матеріали	2400
Придбані деталі	20700
Основна заробітна плата виробничих робітників	1258
Додаткова заробітна плата виробничих працівників	200
Нарахування на соціальне забезпечення виробничих працівників	700
Витрати на монтаж і введення в експлуатацію	2275
Загальновиробничі (цехові) витрати	3467
Разом	31 000

Вставивши в рівняння (5.9) певні елементи витрат з табл. 5.3, визначимо вартість розробленого приладу:

$$C_{MC} = 12\,000 - 6\,000 + 31\,000 = 37\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт і обслуговування обладнання визначаються за формулою:

$$Z_P = (B_C \cdot p) / 100, \quad (5.14)$$

де p - нормативні витрати на ремонт і обслуговування обладнання, %, ($p = 0,7$).

Вартість електроенергії розраховується за формулою:

$$Z_E = N \cdot T_\phi \cdot C, \quad (5.15)$$

де N - встановлена потужність приладу, кВт;

T_ϕ - фактичний час роботи приладу, год.;

C - тариф продажу електроенергії за 1 кВт/год, грн.

Вартість метрологічної перевірки засобів вимірювальної техніки покривається згідно з чинним преїскурантом на послуги та становить 1,5 тис. грн.

Результати розрахунків експлуатаційних витрат для кожного досліджуваного приладу представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Вихідні дані та складові експлуатаційних витрат базового та розробленого приладу

Назва показника, одиниця вимірювання	Значення показника	
	базовий прилад ДД-2110	розроблений прилад КИ-35460
Балансова вартість (B_C), грн.	12000	37000
Амортизація (Z_A), грн.	150	463
Вартість утримання стенду (Z_P) грн.	84	259
Витрати на метрологічну перевірку стенду (Z_{MP}), грн.	1000	1000

Витрати на електроенергію (Z_E), грн.	71460	47640
Погодинна оплата ($C_{ГОД}$), грн.	45	45
Трудомісткість випробування та регулювання форсунок, (T_B), год	1,76	1,52
Об'єм річних робіт (A), шт.	500	500
Річна основна заробітна плата слюсаря - регулювальника (Z_O), грн.	35700	30800
Додаткова заробітна плата (Z_D), грн.	3178	2742
Нарахування на заробітну плату ($Z_{СОЦ}$), грн.	10031	8654

Підставляючи розрахункові значення елементів витрат у рівняння (5.3), визначаємо експлуатаційні витрати:

$$C_1 = 48909 + 150 + 84 + 71460 + 1000 = 121603 \text{ грн.}$$

$$C_2 = 42196 + 463 + 259 + 47640 + 1000 = 91558 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від зниження операційних витрат складає:

$$E_E = (121603 + 0,15 \cdot 12\,000) - (91558 + 0,15 \cdot 37000) = 123403 - 97108 = 26295 \text{ грн.}$$

Економія від зниження витрати палива розраховується за формулою:

$$Э_m = C_m \frac{П_m}{100} \cdot G_m \cdot T_n, \quad (5.16)$$

де C_m – вартість 1 кг дизельного палива, грн.;

$П_m$ – відсоток зниження витрати палива, $П_m = 3,8$;

G_m - середньогодинна витрата палива, кг/год.;

T_n - річний наробіток трактора, мотогодин.

Зменшення питомої витрати палива при використанні розробленого приладу складає в середньому 3,8% (за даними експлуатаційних випробувань). За базовий взято двигун СМД-18 трактора ТДТ-55А з річним напрацюванням 1200 мотогодин, оснащений форсунками, відрегульованими

на розробленому приладі.

Коефіцієнт перерахунку мотогодин в години роботи трактора 0,8.
 Погодинна витрата палива $G_m = 12,8$ кг/год.

Річна економія палива на один трактор становила:

$$E_m = 16,5 \cdot 3,8/100 \cdot 12,8 \cdot 0,8 = 7,705 \text{ грн.}$$

Сумарний річний економічний ефект, виходячи з регулювання дизеля, становить:

$$E_{ЗАГ} = 26295 / 500 + 7705 = 7757,59 \text{ грн.}$$

5.3. Висновки по розділу

1. Розроблено технологічні рекомендації щодо технічного обслуговування та ремонту дизельних форсунок лісогосподарських машин із застосуванням розробленого приладу.

2. Економічний ефект від впровадження запропонованих рекомендацій складає близько 7760 грн на рік на один двигун СМД-18 трактора ТДТ-55А за рахунок зменшення витрати палива та підвищення ефективності усунення відмов форсунок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Встановлено, що одним з вузлів, які визначають надійність лісогосподарських машин, є двигун, на який припадає близько 20% усіх відмов. Найменш надійними агрегатами є паливні системи, на які припадає до 20% відмов дизельних двигунів.

2. Причина їх низької надійності і паливної економічності багато в чому полягає в неякісному регулюванні форсунок. Встановлено, що у 67% досліджених дизельних форсунок лісогосподарських машин тиск на початку підйому голки був ненормальним, а у понад 38% форсунок спостерігалось закоксовування отворів форсунок.

3. Встановлено, що існуюче обладнання для перевірки форсунок має великі похибки у вимірюванні діагностичних параметрів, що призводить до неякісного налагодження паливної апаратури дизеля.

4. Теоретично обґрунтовано та реалізовано можливість підвищення точності вимірювання параметрів досліджуваних дизельних форсунок шляхом використання мікропроцесорів і систем у приладах.

5. Отримано залежності гідросцільності і тиску початку впорскування палива форсункою від напрацювання дизельних двигунів машин. Встановлено, що особливо інтенсивно гідросцільність знижується при напрацюванні від 2000 до 3000 мотогодин, а тиск початку впорскування після 1000 мотогодин.

Визначено закономірності зміни інтервалів розсіювання діагностичних параметрів форсунок внаслідок роботи дизельних двигунів. Цей інтервал збільшується зі збільшенням напрацювання.

6. Розроблено технологічні рекомендації щодо обслуговування та ремонту дизельних форсунок лісогосподарських машин із застосуванням розробленого приладу. Результати експлуатаційних випробувань відремонтованих і відрегульованих форсунок за розробленою технологією показали високу продуктивність і паливну економічність. Дизелі з

експериментальними форсунками споживали на 3,8% менше палива, ніж дизелі зі стандартними форсунками, а кількість відмов паливної апаратури зменшилася на 10-15%.

7. Економічний ефект від впровадження запропонованих рекомендацій склав близько 7760 грн. на рік на один двигун СМД-18 трактора ТДТ-55А за рахунок зменшення витрати палива та трудомісткого усунення відмов форсунок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антипов В.В. Зношення прецизійних деталей і характеристики паливної апаратури дизелів. - М.: Видавництво Машинобудування, 2005. - 132 с.
2. Антропов Б. С. та ін. Виявлення несправностей дизеля ЯМЗ. - М.: Агропромиздат, 1989. - 234 с.
3. Афанасьєв І. М. Регулювання паливної апаратури дизелів. - Мінськ: Урожай, 1988. - 185 с.
4. Бабусенко С. М. Проектування ремонтних підприємств. - М.: Колос, 1981. - 295 с.
5. Баличин В.В. та ін. Ремонт і експлуатація лісогосподарських машин. Підручник. - Ленінград: Агропромиздат, 1989. - 312 с.
6. Бахтяров Н.І., Логінов В.Є. Виробництво та експлуатація прецизійної пари. - М.: Видавництво Машинобудування, 1979. - 205 с.
7. Бахтяров Н.І., Логінов В.Є., Лихачов І.І. Підвищення надійності прецизійних пар паливної апаратури дизелів. - М.: Видавництво Машинобудування, 1972. 200 с.
8. Беленький Р. Р., Черноіванов В. І. Уніфікація ремонтно-технологічного устаткування в системі ремонтно-технічного обслуговування. - 1981.- № 4. С. 46.
9. Биков В.В. Причини зниження якості ремонту машин лісогосподарського комплексу // Ремонт, відновлення, модернізація, 2004. - № 5. - С. 14-15.
10. Биков В.В., Голубєв І.Г., Ігнатов В.І., Тесовський А.Ю., Назаренко А.С. Технічний сервіс. Система технічного обслуговування та ремонту лісового господарства та лісогосподарських машин: навчальний посібник. - М.: МДУ, 1999. - 128 с.
11. Биков В.В., Шамарін Ю.А. Контроль нормативної точності деталей машин. Підручник. - М.: МДУ, 2004. - 99 с. :
12. Веденяпін Г.В. Загальні методи експериментальних досліджень та обробки експериментальних даних. - М.: Колос, 1978. - 199 с.
13. Винокуров В. М., Силаєв Г. В. Лісові машини та їх застосування. - М.:

МДУ, 1999. - 234 с.

14. Власов П. А. Особливості експлуатації дизельної паливної апаратури. - М.: Агропромиздат, 1987. - 189 с.
15. Воскобойніков І. В. Технічна діагностика лісогосподарських машин. - М.: Лісове господарство, 1987. - 150 с.
16. Воскобойніков І. В. Технічне обслуговування та ремонт лісогосподарських машин і обладнання. М., Україна, Екологія, 1993. - 156 с.
17. Тимчасові технічні критерії граничного стану агрегатів і вузлів ТДТ-55А і ТБ-1. Затверджено 24 листопада 1978 р. НАТІ. - 8 с.
18. Гальперін А. С., Сушкевич М. І. Визначення оптимального терміну служби машин. - М.: Колос, 1978. - 183 с.
19. Гмурман В. Є. Посібник до розв'язування задач з теорії ймовірностей і математичної статистики. - М.: Вища школа, 1998. - 400 с.
20. Гоберман В.А., Гоберман Л. А. Колісні та гусеничні машини. Математичне моделювання та аналіз техніко-економічних характеристик: навчальний посібник / За редакцією Л. А. Гобермана. - М.: МДУ, 2002. - 321 с.
21. Голубєв І. Г. Аналіз рівня технічної оснащеності ремонтних цехів // Машини та інструменти. – 1997. – № 4. – С. 45-46.
22. Горбаневський В. Є., Кислов В. Г., Баширов Р. М., Марков В. А. Дизельна паливна апаратура. - М.: Видавництво БМДТУ, 1996. - 140 с.
23. Горячев А. Д. Технологічна підготовка ремонтного виробництва. - Рязань: Московський робочий, 1981. - 191 с.
24. ГОСТ 10579-88 Форсунки дизельні. Загальні технічні умови. - М.: Видавництво стандартів, 1988. - 6 с.
25. ГОСТ 14.201-83. Забезпечення технологічності конструкцій виробів. Загальні вимоги. - М.: Видавництво стандартів, 1983. - 13 с.
26. ГОСТ 15467-79. Управління якістю продукції. Концепції. Терміни та визначення. - М.: Видавництво «Стандарти», 1979. - 28 с.
27. ГОСТ 15888-90. Дизельна паливна апаратура. Терміни та визначення: Публікація стандартів. – 1990. – 12 с.
28. ГОСТ 18509-88. Дизельні двигуни для тракторів і комбайнів. Методи випробувань. - М.: Видавництво стандартів, 1988. - 18 с.

29. ГОСТ 2.102-68. Єдина система проектної документації. Види та комплектність проектної документації. - М.: Видавництво стандартів, 1968. - 15 с.
30. ГОСТ 2.103-68. Єдина система проектної документації. Стадії розвитку. - М.: Видавництво «Стандарти», 1968. - 4 с.
31. ГОСТ 20760-89 Технічна діагностика. Трактори. Параметри та якісні характеристики технічного стану: Видавництво стандартів, 1989. – 9 с.
32. ГОСТ 20831-75. Система обслуговування та ремонту обладнання. Методи оцінки якості відремонтованих дизелів. - М.: Видавництво «Стандарти», 1975. - 10 с.
33. ГОСТ 20911-89 Технічна діагностика. Основні поняття та визначення: Видавництво стандартів, 1989. – 8 с.
34. ГОСТ 239450-80. Уніфікація продукції. Основні положення. - М.: Видавництво стандартів, 1980. - 6 с.
35. ГОСТ 2405-88. Манометри, вакуумметри, вакуумметри, манометри, тензиметри. Загальні технічні умови. - М.: Видавництво «Стандарти», 1988. - 12 с.
36. ГОСТ 27.003-90. Надійність в техніці. Склад і загальні правила вимог до надійності. - М.: - Видавництво Стандарти, 1990. - 27 с.
37. ГОСТ 27.502-83 Надійність у техніці. Система збору та обробки інформації. Планування спостережень: Видавництво стандартів, 1983. – 18 с.
38. ГОСТ 3.1109-82. Терміни та визначення основних понять. - М.: Видавництво стандартів, 1982. - 18 с.
39. ГОСТ 30.001-83. Система стандартів ергономіки та технічної естетики. Основні положення. - М.: Видавництво стандартів, 1983. - 3 с.
40. ГОСТ 305-82. Дизельне паливо. - М.: Видавництво «Стандарти», 1982. - 5 с.
41. ГОСТ 8669-82. Форсунки дизельного двигуна. Правила приймання та методи випробувань. Видавництво стандартів. - 1982. - 17 с.
42. Дергачов А. Ф. Організація і планування підприємств з ремонту автомобілів і дорожніх транспортних засобів. - М.: Транспорт, 1969. - 296 с.
43. Діагностика дизелів ЯМЗ на автотранспортних підприємствах . - М.: ЦБНТІ Міністерства автомобільного транспорту УРСР, 1973.
44. Єремеев Н. С. Формування ремонтної політики в ремонтній галузі //

Лісове господарство. - 2002. - № 2. - С. 15-16.

45. Каргієв Б. С. Прилад для діагностики дизельних двигунів і стартерів // Техніка в сільському господарстві. № 12. - 1985. - 12 с.

46. Карданов Х. Б. Оцінка ефективності дизельних форсунок за узагальнюючим показником // Матеріали науково-технічної конференції МСП імені В.П. Горячкіна . - М.: 1986. - С. 22-23.

47. Кислов В.Г., Кошман Є.І., Попов В.Ю. та ін. Проектування та виготовлення паливної апаратури для тракторних дизелів. - М.: Машинобудування, 1972. 300 с.

48. Копчиков В. П., Невмержицький В. М., Міньков А. С. Технічна експлуатація машин і устаткування деревообробної промисловості. - М.: Лісове господарство, 1986. - 184 с.

49. Корнєєв В. М., Венедіктов А. З., Комаров А. В. та ін. Електронний метод оцінки параметрів форсунок дизеля. - 2001. - 3 12. - С. 55-57.

50. Корнєєв В.М., Черепицький С.В., Шамарін Ю.А. Модернізація обладнання для випробувань і регулювання форсунок дизельних двигунів // Лісовий вісник, № 5. - М.: МГУЛ, 2004. - С. 33-38.

51. Котіков В.М. та ін Лісові машини. - М.: Лісове господарство, 1989. - 512 с.

52. Кривенко П.М., Федосов І.М., Авер'янов В. М. Ремонт сільськогосподарських дизельних двигунів. - М.: Агропромиздат , 1990. - 271 с.

53. Кривенко П.М., Федосов І.М. Технічне обслуговування дизельної паливної апаратури. - М.: Колос, 1973. - 112 с.

54. Кривенко П.М., Федосов І.М., Авер'янов В.М. Ремонт сільськогосподарського дизеля. - М: Агропромиздат , 1990. - 174 с.

55. Крюков В.П., Федін Н.І. Технологічна підготовка авторемонтного виробництва. - М.: МАДИ, 1980. - 87 с.

56. Крюченков В. В., Іванов Н. Б., Казуро Л. С. Перелік засобів вимірювань, випробувальних, контрольних і діагностичних пристроїв для технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарських машин. - М.: ГОСНИТИ, 1987. 99 с.

57. Кузнецов Е. С. Технічне обслуговування автомобілів в США. М:

Транспорт. 1992. - 350 с.

58. Лишевський А. С. Дизельні рухові установки. - М.: Видавництво Машинобудування, 1981, 216 с.

59. Е. М. Лемберг Статистичні методи побудови емпіричних формул. - М.: Вища школа, 1988. - 239 с..

60. Малишев Г. А. Теорія авторемонтного виробництва. - М.: Транспорт, 1977.-224 с.

61. Міжнародний стандарт ISO 8402. Управління та забезпечення якості. – Словник, 1994. – 52 с.

62. Милов А. А. Розробка методики оцінки технічного стану поршневих пар ДТА при ремонті: Автореф. канд. техн.

63. Новицький П.Ф., Зограф І. А. Оцінка похибок результатів вимірювань. - М.: Енергоатомиздат , 1991. - 304 с.

64. Нуйкін А.А., Власов П.А. Рухова установка дизеля. Технічний посібник. – Пенса, 2004. – 140 с.

65. Загальні стандарти управління якістю та забезпечення якості. Частина 4: Рекомендації щодо вибору та використання. Міжнародний стандарт. ISO 9000-1. М., 1994. - 45 с.

66. Загальне управління якістю та елементи системи якості. Частина 4: Рекомендації щодо підвищення якості. Міжнародний стандарт. ISO 9004-4.-М., 1993.-48 с.

67. ОСТ 2 НО7-1-84. Методика оцінки економічної ефективності. - М.: Мінстанкопром , 1984. - 215 с.

68. Петровський Д. І. Діагностика паливної системи високого тиску дизелів за амплітудно-фазовими параметрами подачі палива. Автореферат канд . технології. наук - М.: ФГОУ НІЕ МГАУ, 2004. - 18 с.

69. Проблеми технічного забезпечення в агропромисловому комплексі Росії. - М.: ГОСТИНИ, 2000. 301 с.

70. Пучін Е. А., Дідманідзе О. М., Корнєєв В. М., Петровський Д. І. Технічне обслуговування дизельної паливної апаратури . - М.: УМЦ Тріада, 2003, 103 с.

71. Пучін Е. А. Система технічного обслуговування трактора в сучасних

умовах. Труды ГОСНИТА, 1998. - № 97. - С. 106-110.

72. РД 50-491-84. Методичні вказівки. Технічна діагностика. Визначення параметрів технічного стану об'єктів діагностики за непрямими параметрами на основі регресійних моделей: Видавництво стандартів, 1985. 48 с.

73. Рекомендації по ремонту машин за результатами діагностики. - М.: ГОСНИТИ, 1979. - 18 с.

74. Рекомендації з технічної підготовки виробництва та підвищення якості ремонту паливної апаратури дизелів, - М.: ГОСНИТИ, 1986. 53 с.

75. РТМ 10.0062-00. Форсунки дизельні для автотракторів. Сервіс. М., 2000. - ГОСНИТИ. - 12 с.

76. РТМ 10.0064-00. Методика метрологічної атестації та повірки стендів для випробування дизельної паливної апаратури. - М.: ГОСНИТИ, 2000. - 19 с.

77. Північний А.Є., Корнєєв В.М., Шинкевич В.А. РТМ 10.0062-00. Форсунки дизельні для автотракторів. Сервіс. - М.: ГОСТИНИ, 2000. - 12 с.

78. Селіванов А. І. Основи теорії машинного старіння. 2-е видання - М.: Видавництво Машинобудування, 1971. - 408 с.

79. Селіванов С.С., Іванов Ю.В. Механізація процесів технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів. - М.: Транспорт, 1984. - 197 с.

80. Сучасні методи відновлення деталей машин. - М.: ВНИИТУВИД, 2000.-20 с.

81. Довідник технологічних і транспортних машин підприємств лісового і технічного обслуговування / За редакцією В.В.Бикова, А.Ю. Тесовський . - М.: МДУ, 2000. - 534 с.

82. Довідник технолога авторемонтного виробництва (за ред. Г.А. Малишева). - М.: Транспорт, 1977. - 432 с.

83. Технічне обслуговування машин і устаткування іноземними компаніями (за ред. Н.М. Смелякової). - М.: Внешторг , 1973. - 497 с.

84. Технологічне оснащення підприємств сфери послуг (В.І. Черноіванов , А.Є. Північний, В.М. Корнєєв та ін.). - М.: ГОСНИТИ, 1997. - 136 с. : рис .

85. Технологічне керівництво з контролю та регулювання дизелів тракторів і комбайнів в експлуатації. - М.: ФГНУ. - 2005. - 134 с.

86. Технологія авторемонтного виробництва (під ред. К.Т. Кошкіна). - М.:

Транспорт, 1969. - 568 с.

87. Трусов В. І., Дмитрієнко В. І., Масляний Г. Д. Інжектори автомобільні. Мінськ, 1977. - 163 с.

88. Фейнлейб Б. М. Паливна апаратура дизелів тракторів. Довідник. Л., Видавництво «Машинобудування», 1990. - 352 с.

89. Фейнлейб Б.М. Паливна апаратура дизельних двигунів тракторів. - Л.: Видавництво «Машинобудування», 1990. - 348 с.

90. Фомін Ю.Л., Ніконов Г.В., Івановський В.Т. Паливна апаратура дизелів. - М.: Видавництво Машинобудування, 1982. - 168 с. : рис .

91. Шамарін Ю.А. Аналіз водонепроникності поршневих пар насоса 4-УТНМ // Лісовий вісник, № 6. М., Укрх., 2005. - С. 109-111.

92. Шамарін Ю.А. Аналіз розрив Поршневі пари насоса 4-УТНМ // Лісовий вісник, № 6. - М.: МГУЛ, 2005. - С. 105-109.

93. Шамарін Ю.А., Биков В.В., Тесовський А.Ю. Контроль нормативної точності деталей машин. Підручник. 2-е вид. - М.: МГУЛ, 2005. - 103 с.

94. Шамарін Ю.А., Корнєєв В.М., Назаренко А.С., Прохоров В.Ю. Оцінка та аналіз технічного стану дизельної паливної апаратури. Підручник. - М.: МДУ, 2005. - 75 с.

ДОДАТКИ