

НУБІП України

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА
РОБОТА**

01.12.МР.403«С»28.03.223.041 ПЗ

Макарчук Олександр Володимирович

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет Конструювання та дизайну
УДК 631.173:629.4.621

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри надійності техніки
(назва кафедри)
Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на тему: «Підвищення ефективності та надійності експлуатації мобільної
сімейногосподарської техніки шляхом вдосконалення
діагностування дизельної паливної апаратури»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(коди назва)
Спеціалізація -
(назва)
Магістерська програма «Технічний сервіс машин та обладнання
сімейногосподарського виробництва»
(назва)

Програма підготовки освітньо-професійна програма
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Гарант освітньої програми
К.Т.Н., доц. Новицький А.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівники магістерської роботи
К.Т.Н., доцент Новицький А.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)
ст. викладач Бистрий О.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав Макаруч О.В.
(підпис) (ПІБ студента)
КИЇВ - 2023

НУБІП України

Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

К.Т.Н., доц. Новицький А.В.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” 2022 року

НУБІП України

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Макарчуку Олександрову Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Спеціалізація _____
(назва)

Магістерська програма «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Програма підготовки освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи тему: «Підвищення ефективності та надійності експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки шляхом вдосконалення діагностування дизельної паливної апаратури»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 28. 03.2023 р. №403 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.11.2023 р.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи 1. Огляд конструкцій паливних систем одизельних двигунів виробництва. 1.2. Аналіз структур технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. 1.3 Діагностичне обладнання паливних насосів високого тиску. 1.4. Технічні вимоги на обслуговування та ремонт паливних насосів. 1.5. Типові норми часу на ремонт і технічне ПНВТ.

Перелік питань, що підлягають дослідженню: Реферат. Вступ. 1.1 Технічний стан та особливості експлуатації техніки і агропромислового комплексу 1.2 Управління технічним станом машин у процесі експлуатації за рахунок технічного обслуговування та ремонту 1.3 Аналіз впливу основних параметрів роботи паливної апаратури на технічний стан дизельних двигунів 1.4. Аналіз методів та засобів для діагностування дизельної паливної апаратури 1.5 Висновки. Мета та завдання до магістерської роботи 2.1 Прогнозування зміни технічного стану машин методами діагностування 2.2 Взаємозв'язок параметрів роботи паливної апаратури 2.3 Теоретичне обґрунтування можливості визначення кількості вприскуваного палива математичним розрахунком 2.4 Висновки 3. Теоретичні передумови до підвищення міжремонтного ресурсу силових гідроциліндрів. 3. Методики експериментальних та теоретичних досліджень. 4. Розробка удосконаленого технологічного процесу ремонту силових гідроциліндрів електроіскровим методом. Висновки. Літературні джерела. Додатки

Перелік графічного матеріалу (за потреби) 1. Розподіл відмов за системами тракторів 2. Розподіл відмов по системам дизельного двигуна 3. Залежність тривалості вприскування від кількості палива. 4. Залежність показань приладу витрати палива від подачі 5. Роль технічної діагностики у підвищенні ефективності роботи 6. Місце діагностики в системі технічного обслуговування та ремонту машин 7. Головні параметри процесу паливоподачі 8. Схема отримання цифрового сигналу тиску подачі палива 9. Порівняння, визначення кута випередження початку вприскування та тривалості 10. Довірчі інтервали різних методів вимірювання кута випередження подачі палива при діагностуванні 11. Довірчі інтервали при різних способах визначення циклової подачі 12. Результати проведених діагностувань 13. Розподіл відмов за параметрами роботи паливної апаратури 14. Результати розрахунків витрат для порівняння методів

Дата видачі завдання «21» вересня 2022 р.

Керівники магістерської роботи:

(підпис)

Бистрий О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Новицький А.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Макарчук О.В.

(прізвище та ініціали студента)

Зміст

Вступ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Технічний стан та особливості експлуатації техніки і агропромислового комплексу

1.2. Управління технічним станом машин у процесі експлуатації

1.3. Аналіз впливу основних параметрів роботи паливної апаратури на технічний стан

1.4. Аналіз методів та засобів для діагностування дизельної паливної апаратури

1.5. Висновки. Мета та завдання до магістерської роботи

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

2.1 Прогнозування зміни технічного стану машин методами діагностування

2.2 Взаємозв'язок параметрів роботи паливної апаратури

2.3 Теоретичне обґрунтування можливості визначення кількості вприскуваного палива

2.4 Висновки

РОЗДІЛ 3. Аналіз пошкоджень деталей редукторів.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА УМОВ

ЕКСПЛУАТАЦІЇ

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Результати лабораторних досліджень

4.1.1 Результати вимірювання тиску початку вприску палива

4.1.2 Результати вимірювання кута випередження подачі палива

4.2. Розрахунок кількості вприскуваного палива та циклової подачі за математичною моделлю

4.3 Висновки	78
РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	79

5.1 Рекомендації з управління технічним станом паливної апаратури

дизельних двигунів

79

5.2. Результати використання розробленого методу

80

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

86

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

89

ДОДАТКИ

92

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

В даний час на ринку налічується велика кількість діагностичного обладнання, що дозволяє визначити технічний стан вузлів та агрегатів, а також контролювати параметри їх роботи. Зважаючи на наявність великої номенклатури, всі засоби для діагностування можуть бути поділені на три групи, залежно від принципів, що лежать в основі методів діагностування:

- віброакустичний;
- за характером підйому голки форсунки;
- за параметрами (амплітудно-фазовий) тиску палива в лінії нагнітання.

На сьогодні проведено багато порівняльних оцінок за критеріями ефективності, достовірності, економічності, технологічності та перспективності, наявних на сьогоднішній момент, методів діагностування.

В основу методу віброакустичного діагностування покладено реєстрацію та аналіз спектральних характеристик амплітудно - фазових параметрів окремих імпульсів вібрації, які створюються вібродатчиком, що знаходиться на певному місці об'єкта, що досліджується. Цілим рядом

досліджень встановлено, що спектральні характеристики вібропроцесу значною мірою визначаються станом прецизійних пар та параметрів регулювання паливної апаратури. Діагностування цим методом

проводиться на основі стандартної осцилограми. Для збільшення співвідношення сигнал - перешкода та приведення інформації до виду, придатного для подальшої обробки та прийняття рішення, необхідно зробити певний аналіз щодо виділення корисного сигналу, таких як

посилення, фільтрацію, стробування, детектування та кореляційну обробку

Використання кореляторів у складі віброакустичних систем підвищує можливості методу, проте призводить до значних витрат часу та засобів. Це стосується діагностування паливної апаратури, найкращі результати

були досягнуті при діагностуванні форсунки, реалізації спектра
акустичного сигналу, що певною мірою полегшує завдання виділення
корисної інформації. Проте технічна реалізація цього методу потребує
апаратурних витрат. Це є великим рівнем перешкод, які створюють
складність виділення корисної інформації.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Розділ 1. АНАЛІЗ СТАНУ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Технічний стан та особливості експлуатації техніки у агропромисловому комплексі

Основними причинами різкого спаду лісозаготівельного виробництва є низький технічний рівень окремих виробничих операцій, фізичне та моральне зношування лісозаготівельної техніки. В даний час на польових роботах експлуатується техніка, поставлена на серійне виробництво у шістдесятих, сімдесятих та рідко у вісімдесятих роках. Крім того, обсяг випуску вітчизняних машин зменшився у кілька разів, а виробництво деяких типів припинилося [5].

Через брак фінансових коштів на даний час оновлення парку машин незначне. У віковій структурі парку сільськогосподарських і транспортних машин, що експлуатуються, 55-70 % займає повністю амортизована техніка, яка відповідно до нормативних документів повинна бути списана, або модернізована [3, 16].

Основну частину собівартості продукції формують витрати на підтримку техніки у працездатному стані. Обсяг витрат за технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки у собівартості продукції становить від 10,0 % до 36,5 % і в середньому для всіх підприємств цей показник дорівнює 19,7% [3, 5].

Експлуатація техніки у сільськогосподарському виробництві має свою специфіку. Це зумовлено великою кількістю факторів, що абстрагують сільське господарство від інших галузей. Відстань між місць роботи техніки від споживачів, дилерів, промислової інфраструктури та інших значних об'єктів створює проблеми у логістичному забезпеченні.

Реалізацію цього процесу посилює і факт незадовільного стану доріг, а найчастіше і їх відсутність, часто логістика проходить не підготовленою пересіченою місцевістю. Розташування робочих місць постійно змінюється.

Щойно врожай пшениці на певній площі зібрано, вся техніка перекидається на нове поле, що створює проблеми транспортування великої кількості машин. Очевидним є той факт, що джерело сировини постійно віддаляється від

споживача. Специфіка сільськогосподарського виробництва не може не враховувати фактор кліматичних природних явищ: холоднеча, снігопад, заморозки, відлига тощо. У негоду значно ускладнюються, а часом стає неможливим виконання сільськогосподарських робіт та транспортування. Ці

фактори мають бути враховані при плануванні та організації робіт, зокрема при забезпеченні надійності та ефективності роботи техніки, що експлуатується.

Проблема забезпечення паливно-мастильними матеріалами (ПММ) та витратними матеріалами також існує у вигляді того, що вона здійснюється на значній відстані від переробних підприємств. Цьому робочому процесу властива певна своєрідна автономність. В умовах сезонності завезення обладнання, витратних матеріалів та іншого знаряддя може бути навіть прив'язане до сезону навігації.

Варто враховувати, що лісозаготівля є трудомістким та складним процесом у роботі всього лісопромислового комплексу. На лісозаготівлі техніка працює в різних режимах. Значні відмінності режимів роботи техніки, умов експлуатації, а також кваліфікація робочих пред'являють певні вимоги до технічного стану дизельних двигунів.

В агропромисловому комплексі є проблема товарообігу та ділових відносин. Велика номенклатура виробленого товару, сировини, напівфабрикатів, кінцевої продукції, товарів глибокої переробки та продукції з високою доданою вартістю, а також велика кількість постачальників, підрядників, дилерів створюють додаткові умови у вигляді контрактів з жорсткими термінами постачання, вимогливості до якості продукції, що

поставляється, та сировини.

Агропромислового комплексу притаманні великі вантажообіги виробленої продукції між заготівельним сектором та переробним, а також

транспортування продукції на великі відстані до кінцевого споживача [5].

Виконання робіт при значній запыленості, транспортування по бездоріжжю створюють передумови виникнення проблем при підрахунку норм завантаження, термінів технічного обслуговування машин. Все це призводить

до зниження ресурсу машин так і дизельних двигунів, підвищення витрат палива, зменшення продуктивності, додаткових трудовитрат для підтримки ефективності робіт.

Сільськогосподарські роботи мають явно виражений сезонний характер.

Тракторний парк експлуатується найінтенсивніше весна - осінь. Використання машин у цей період пред'являє до техніки особливі вимоги. Техніка має бути стійкою до кліматичних умов, дизель повинен забезпечувати надійний пуск при мінусових температурах (-10; -20°C).

На регулюванні режимів роботи техніки варто зупинитись окремо.

Перше технічне обслуговування та ремонт техніки проводить дилер - це так званий передпродажний сервіс. Як правило, всі налаштування в тому числі і дизеля робляться за узагальненими нормами, без урахування місця експлуатації, специфіки та пори року. У разі, якщо дизельний двигун у

виробника техніки є покупним, його регулювання виробником не проводиться, після чого техніка власником відразу транспортується на місце її експлуатації. Часто дилер доставляє техніку відразу на місце використання, і за фактом техніка спочатку працює без потрібних

налаштувань та регулювання параметрів під безпосередні умови роботи. Так техніка, як правило, працює до наступного ТО. У процесі роботи параметри дизеля неминуче відхиляються від заданих параметрів і можуть призвести до

втрат потужності, виходу з ладу, збільшення витрат палива [16,19].

Перевитрата палива машинами, через певні причини може призвести до того, що через відсутність палива вся техніка стане, і до наступного постачання простоюватиме.

Таким чином, особливості умов роботи сільськогосподарської техніки створюють велику кількість факторів, що впливають на надійну роботу.

Одним з основних факторів, що забезпечує ефективність роботи, є якісне та своєчасне проведення технічного обслуговування та ремонту техніки

безпосередньо на робочих місцях. Своєчасне та якісне виконання ТО і

поточного ремонту залежить від загального стану техніки, наявності відомостей про її реальний стан та розуміння специфіки роботи. При

діагностуванні та обслуговуванні техніки необхідно обов'язково враховувати

специфіку її роботи. Відсутність своєчасного регулювання та діагностування

позначається негативним чином на роботі, економічності та терміні служби машини.

Діагностування вузлів і агрегатів та технічне обслуговування, поточний ремонт повинні виконуватися в максимально можливому обсязі, проводитись

на робочих місцях, через важку доступність та віддаленість спеціалізованих майстерень, з використанням пересувних, малогабаритних діагностичних стендів.

1.2. Управління технічним станом машин у процесі експлуатації за рахунок технічного обслуговування та ремонту

Теоретично існують різні шляхи підвищення ефективності експлуатації техніки: економічні, технологічні, технічні та інші, також необхідно

передбачати періодичний аналіз ринку та виробничо-господарської діяльності підприємства, маркетингові дослідження та консалтинг. Слід зазначити, що

прогнозованого впливу економічних методів підвищення ефективності

виробництва виявити неможливо, оскільки економічні заходи мають тісну залежність зі світовою макроекономікою, що в свою чергу не піддається стабільному прогнозуванню. Технологічний напрямок передбачає

удосконалення технології виробництва за рахунок використання більш сучасного обладнання, компонентів технологічного процесу, поліпшення споживчих властивостей готової продукції і т.і. Найбільш ефективним напрямом підвищення працездатності техніки є технічний.

Одним із основних технічних способів підвищення ефективності функціонування техніки є управління її надійністю. Цей спосіб передбачає підвищення ефективності роботи наявного технологічного обладнання, яке досягається збільшенням його коефіцієнта використання, зниженням витрат на експлуатацію та зменшенням годин простоїв з технічних причин.

Механізація та автоматизація аграрного сектору характеризується - застосуванням складного, дорогого та високопродуктивного обладнання. Посилені вимоги до режимів роботи машин, в тому числі і за екологічними показниками, зростає інтенсивність їх використання. Одночасно спостерігається збільшення інтенсивності відмов, збільшення тривалості простоїв, пов'язаних із відновленням працездатності, зростають витрати на проведення непланових робіт з технічного обслуговування та ремонту [3].

Значні збитки від простоїв обладнання зумовлюють необхідність - підвищення його експлуатаційної надійності, що дозволяє значно скоротити інтенсивність відмов.

Численні дослідження показали, що суттєво підвищити експлуатаційну надійність будь-якого технологічного обладнання можна за рахунок раціонально організованої системи технічного обслуговування та ремонту.

Існують три основні стратегії організації технічного обслуговування та ремонту (ТО та Р) машин та обладнання.

• за потребою • попереджувальний (плановий) • за станом

НУБІП України

Стратегія першого типу проводиться в разі потреби і передбачає, що в техніку, яка працює на виробництві, виявляється технічний вплив лише після виникнення відмови. Такий принцип організації технічного обслуговування частково застосовується при новому парку машин, а також у певних

специфічних сферах експлуатації техніки, наприклад, військової. Технічне обслуговування та ремонт за потребою має такі недоліки, як значні витрати часу від простоїв техніки, відсутність можливості прогнозування запасів запасних деталей.

НУБІП України

У сільськогосподарському виробництві, на даний момент, широко використовують планово запобіжне технічне обслуговування та ремонт машин та обладнання.

При використанні планово-попереджувального принципу організації технічного обслуговування та ремонту технічні впливи на об'єкти виявляються до появи відмови, внаслідок чого скорочується кількість відмов та непередбачених простоїв. Негативною стороною даної стратегії є неповне використання ресурсу машин, велике навантаження на ремонтні підприємства, відсутність об'єктивної інформації про технічний стан.

НУБІП України

На підставі проведених досліджень найбільш перспективним напрямом підвищення ефективності роботи наявної техніки є використання стратегії організації технічного обслуговування та ремонту за фактичним станом, яка передбачає здійснення заходів щодо технічного обслуговування та ремонту з урахуванням реального ступеня зносу машин та агрегатів. При цій стратегії

методами контрольних перевірок, діагностування, експлуатаційних спостережень визначають фактичний стан параметрів машин та порівнюють їх

НУБІП України

з номінальними значеннями. У разі потреби при досягненні основних вихідних параметрів роботи машини, граничних значень, назначаються необхідні керуючі дії. За такої стратегії виключається прояв раптових відмов,

зупинок і великих простоїв у ремонт, і максимальною використовується ресурс деталей, планується напруження між ремонтами, скорочується кількість ремонтно-обслуговуючих заходів, що зумовлюють її ефективність.

Для повної реалізації зазначеної стратегії системи технічного обслуговування та ремонту машин необхідно створювати автоматизовані системи діагностування, застосовувати об'єктивні методи прогнозування працездатності обладнання та наявність алгоритмів оперативного розрахунку оптимальних міжремонтних циклів.

Діагностування машин в умовах підприємств технічного сервісу, як правило, не складає складності, оскільки в їх комплектуванні є достатньо вимірювальних приладів.

Організаційну форму стратегії технічного обслуговування та ремонту техніки було сформовано протягом попередніх років. Основна частина робіт з технічного обслуговування та ремонту техніки виконується на сервісних підприємствах, оскільки діагностування та ремонт на даний момент не можуть бути виконані на робочих місцях у необхідному обсязі. Відсутність зразків засобів діагностування, які дозволяють проводити діагностування техніки на робочих місцях, забезпечується в умовах спеціалізованих майстерень, які

оснащені необхідним стаціонарним обладнанням для обслуговування та ремонту техніки. Проте, враховуючи, що розосередженість техніки та її віддаленість від сервісних підприємств є значною, вносять певні корективи.

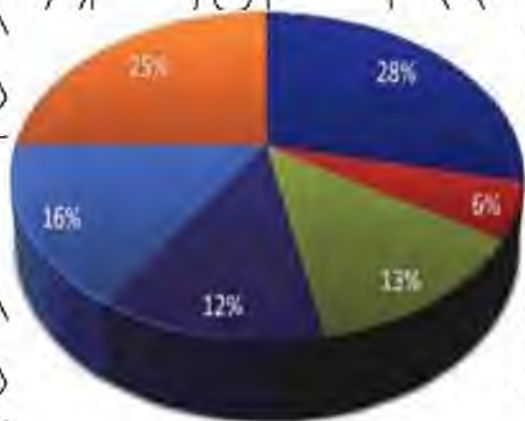
При такому розосередженні техніки потрібна велика кількість малопотужних ремонтно-механічних майстерень та майданчиків для зберігання техніки.

Великий обсяг робіт, присвячених вдосконаленню організаційного та технічного рівня експлуатації техніки, що працює в агропромисловому

секторі. Однак, роботи по підвищенню ефективності експлуатації техніки, її надійності та зменшенню кількості раптових відмов залишаються актуальними.

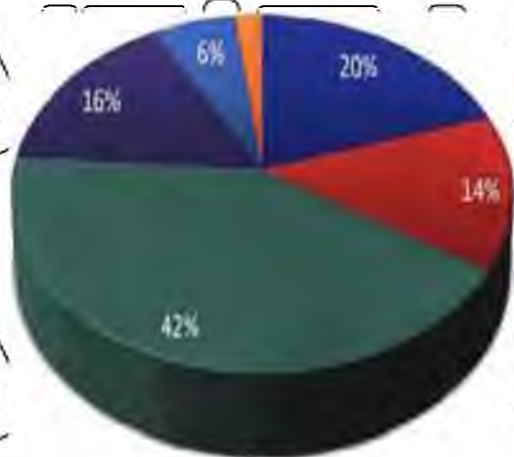
Результати аналізу відмов за системами сільськогосподарської, енергонасиченої техніки, представлені на рисунках 1.1 та 1.2. Дані дослідження вказують, що найменш надійним агрегатом дизельного двигуна є паливна апаратура. На її частку, за деякими даними, припадає від 42% до 60% відмов двигуна (рисунок 1.2).

Необхідно також відзначити, що в даний час також пріоритетною стала задача сумісності дизеля з навколишньою природою, його екологічність. Найбільшу загрозу для людини і довкілля становлять відпрацьовані гази – складна суміш органічних та неорганічних речовин, що знаходяться у різному стані.



Двигун – 28%;
 Трансмсія – 25%;
 Ходова частина – 16%;
 Гідрообладнання – 12%;
 Електрообладнання – 13%;
 Механізм керування – 6%

Рисунок 1.1- Розподіл відмов за системами тракторів



Кривошипно-шатунний механізм – 42%;
 Система змащування – 16%;
 Паливна система – 20%;
 Електрообладнання – 14%;
 Система запуску – 6%

Інші – 2%

НУБІП України

Малюнок 1.2 - Розподіл відмов по системам дизельного двигуна

Жорсткі вимоги до токсичності відпрацьованих газів призвели до зміни стандартів та розробки певних вимог до дизельного палива, зокрема, за щільністю, в'язкістю та вмістом сірки [27].

Політика у галузі екологічного законодавства спрямована на уніфікацію зі стандартами ЄС та TSO . До 2008 року токсичність відпрацьованих газів двигунів, що випускаються, повинна була відповідати європейському ступеню - 1. З 1 січня 2008 року діє нова редакція ДСТУ Р 41.96-2005 (Правила ЄЕК ООН № 96), яка передбачає вимоги Stage II, розширення діапазону потужності з 18 до 560 кВт та області поширення (крім сільськогосподарських та лісових тракторів на дизелі решти поза шляхової техніки).

Нормативи та терміни їх впровадження в США, ЄС та Україні на період з 2005 до 2023 року представлені у зведеній таблиці 1.1.

В даний час найбільш ефективними напрямками покращення роботи дизелів в галузі підвищення економічності та зниження токсичності відпрацьованих газів є заходи щодо модернізації системи паливоподачі (підвищення тиску та реалізація заданої характеристики впорскування), оптимізації процесу згоряння а також заходи щодо технічного обслуговування та ремонту, що дозволяють підтримувати необхідні параметри роботи дизеля в оптимальних значеннях [6].

Це може бути забезпечено при дотриманні певних необхідних умов:

- максимальне наближення об'єму стиснення до об'єму камери згоряння;
- створення турбулентності повітряного заряду в об'ємі камери згоряння (КЗ) та дрібномасштабної турбулентності поблизу стінок КС;
- узгодження параметрів впорскування, розвиток паливних факелів та випаровування зі швидкостями руху повітряного заряду, геометрією камери

згоряння, параметрами турбулізації свіжого заряду в камері згоряння.

Розв'язання вищезазначених завдань, з урахуванням специфічних умов експлуатації сільськогосподарської техніки, дозволить покращити експлуатаційні показники техніки.

Таблиця 1.1

Сучасні та перспективні норми токсичності відпрацьованих газів у СНІА, ЄС.

кВт	Роки												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0-7	(7,5)8,0/0,8			(7,5)78,0/0,4									
8-18	(7,5)6,6/0,8			(7,5)6,6/0,4									
19-36	(7,5)75,5/0,6			(7,5)5,5/0,3 (Tier III Interim)						(4,7)75,0/0,03			
37-55	(7,5)75,0/0,4			(4,7)75,0/0,4									
56-74										3,3/0,19/5,0/0,02 0,4/0,19/5,0/0,02			
75-129	(6,6)75,0/0,3												
130-224	(6,6)73,5/0,2												
225-440	(6,4)73,5/0,2			(4,0)73,5/0,2 (Tier III)			2,0/0,19/3,5/0,02			0,4/0,19/3,5/0,02			
440-560	9,2/1,3/11,4/0,54			(6,4)73,5/0,2			3,3/0,19/3,5/0,02						
>560	Tier I			Tier II			Tier III Interim			Tier IV Final			
кВт	2010	2011	2012	2013 I	2014 I	2015	2016	2017 I	2018	2019	2020	2021	2022
18-36	8,0/1,5/5,5/0,8			(7,5)75,5/0,6									
37-55	7,0/1,3/5,0/0,4						(4,7)5,0/0,4			I(4,7)5,0/0,025			
56-74							(4,7)75,0/0,4						
75-129	6,0/1,0/5,0/0,3			(4,0)73,0/0,3			3,3/0,19/5,0/0,025			0,4/0,19/5,0/0,025			
130-560				(4,0)73,5/0,2			2,0/0,19/3,5/0,025			0,4/0,19/3,5/0,025			
>560	St II			Stage III A			Stage III B			Stage IV			
кВт	2010	2011	2012	2013 I	2014 I	2015	2016	2017 I	2018	2019	2020	2021	2022
18-36	-			8,0/1,5/5,5/0,8									
37-74	9,2/1,3/6,5/0,85			7,0/1,3/5,0/0,4									
75-130	9,2/1,3/5,0/0,7			6,0/1,0/5,0/0,3									
130-560	9,2/1,3/5,0/0,54			6,0/1,0/5,0/0,2									
>560	КМ 41.96-1999			ДІРЖСТАНДАРТ Р 41.96 - 2005 (відповідає Stage - II)									

Примітка. Гранично-допустима концентрація ВР в ОГ зазначена у вигляді: No_x / СН / CO / PM або (No_x + СН) / CO / PM .

На даний момент дедалі актуальнішим стає завдання контролю викидів відпрацьованих газів у процесі експлуатації. Пояснюється це тим, що в процесі експлуатації через порушення показників роботи, зокрема паливної

апаратури, викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами можуть істотно перевищувати допустимі (заявлені заводом-виробником) значення.

Внаслідок впровадження більш жорстких нормативів щодо викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами спостерігається

невідповідність нормативним вимогам показників токсичності дизелів, поставлених раніше на виробництво. У цьому випадку поліпшення техніко-

економічних та екологічних показників може бути досягнуто підвищенням ефективності технічного обслуговування та ремонту машин та тракторів

лісового комплексу шляхом впровадження нових діагностичних засобів та методів діагностування, що дозволить забезпечити підтримку робочих

параметрів техніки після ремонту та в період експлуатації в межах нормативних значень, підвищити її надійність та ефективність.

Таким чином, технічний стан мобільної техніки багато в чому визначається працездатністю паливної апаратури дизелів. Критеріями якими

оцінюється робота паливної апаратури є паливоподача, саме циклова подача палива (мг/цикл); кількість палива, витраченого на один градус повороту

кулачкового валу насоса; тривалість впорскування палива (мс); швидкість впорскування (м/с); характеристика тиску впорскування (МПа); кут

випередження впорскування; дисперсійна структура розподілу частинок палива (мкм) Ці параметри формують комплексні показники процесу

паливоподачі та характеристики впорскування, а також несуть загальну інформацію про технічний стан паливного насоса високого тиску (ПНВТ)

паливопроводу та роботи форсунок [16].

У перспективному варіанті, діагностика сільськогосподарської техніки повинна проводитись на місці її безпосередньої експлуатації.

У цьому випадку потрібно об'єктивно оцінити технічний стан об'єкта в умовах обмеженої інформації. Насправді, аналіз технічного стану який проводиться в умовах експлуатації, не надає достовірної інформації є дуже

ускладненим, тому неможливо зібрати абсолютно всю інформацію та зробити об'єктивний висновок про технічний стан техніки. У разі польового діагностування необхідно теоретично обґрунтувати основні параметри, які, у певному сенсі, є кінцевими та характеризують менш важливі параметри.

Для цього мають бути розроблені методики оперативного контролю машин з мінімальними трудовитратами та скороченням годин простою техніки [53].

1.3 Аналіз впливу основних параметрів роботи паливної апаратури на технічний стан дизельних двигунів

Оптимізацією впливу робочого процесу паливної апаратури на роботу дизеля займалися виробники протягом багатьох років, при цьому було встановлено, що будь-яке відхилення параметрів паливної апаратури від оптимальних умов її роботи, як правило, призводить до погіршення роботи дизелів.

Один із найважливіших параметрів організації робочого процесу паливної апаратури є забезпечення заданого тиску впорскування. Підвищений тиск впорскування є фактором, що дозволяє одночасно досягати звичайно взаємовиключних результатів: з одного боку - зниження викидів NO_2 (оксид азоту); жорсткості згоряння; механічного навантаження дизеля; з іншого боку - витрати палива, викидів частинок CO (монооксиду вуглецю), CH_2 (вуглеводнів). Так, зміна параметра «кута випередження впорскування палива» (КВП), що утворює основну криву малюнку 1.3, забезпечує лише одностороннє поліпшення екологічних показників.

За останні 15-20 років значення максимальних тисків впорскування зросли у 3-5 разів та досягають 250 МПа у певних моделях дизелів.

Тиск вприскування палива знижується під час експлуатації техніки через зниження зусилля попередньої затяжки пружин форсунок, зношування плуижерної пари та нагннального клапана.

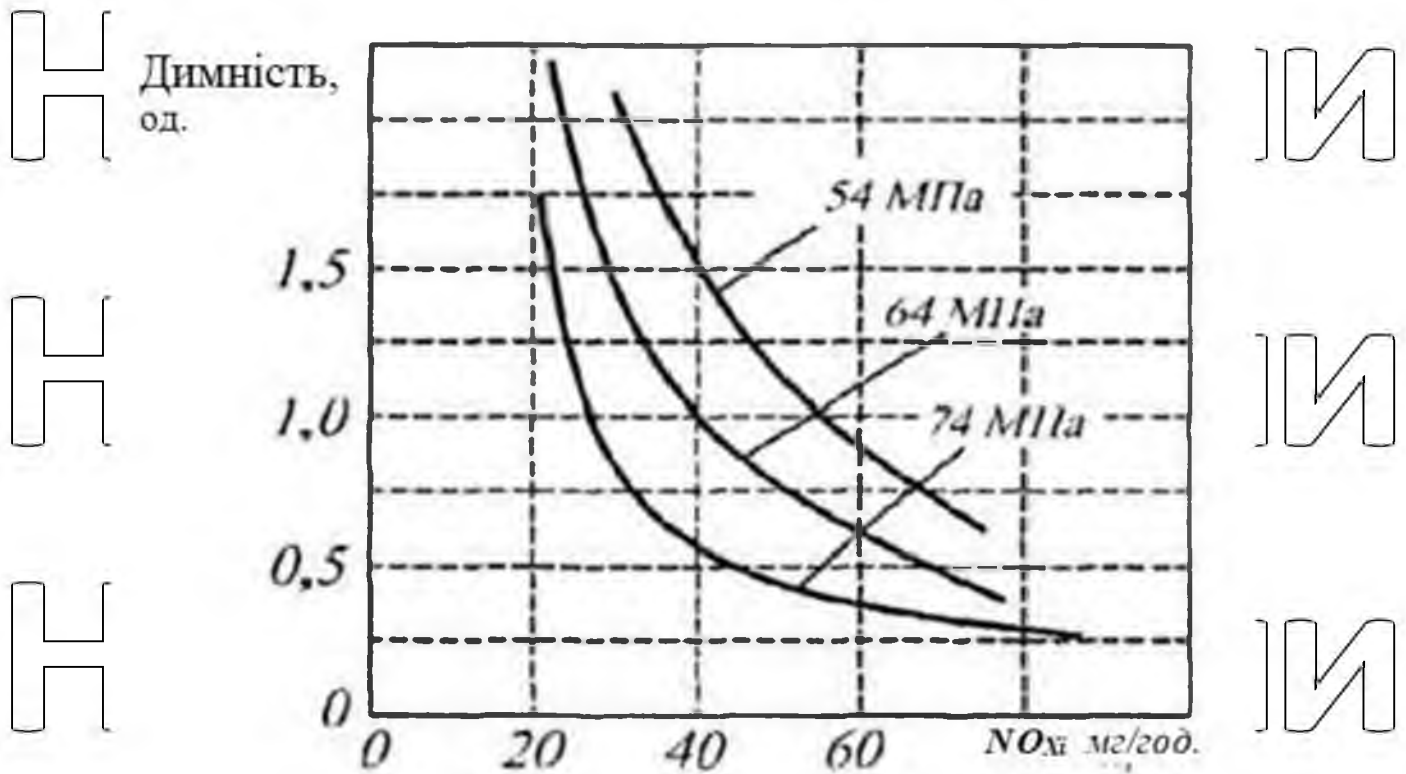


Рисунок 1.3 - Типова діаграма емісії шкідливих речовин при різних кутах випередження вприскування палива та тиску (двигель Mercedes OM611 при $n = 2000$ об/хв).

Вимоги, пред'явленнн до норм викидів шкідливих речовин, важко виконати без використання можливостей електронного управління.

Наприклад, при високих навантаженнях пріоритет у регулюванні кута випередження подачі палива, з яким знаходиться в тісному взаємозв'язку і залежить від нього NOx, децю пом'якшується і не відіграє вирішальної ролі.

Забезпечення автомобільними дизелями нормативів рівня Євро-3 без електронного управління важко, Євро-4 і вище – неможливе.

До показників, які безпосередньо впливають на якість робочого процесу дизеля, можна віднести оперативне завершення процесу

впорскування, відсутність підтікання розпилювача. Доведено, що підтікання палива обумовлює емісію CH_2 із відпрацьованими газами і призводить до закоксування розпилювача форсунки [6]. Повільне завершення процесу впорскування призводить до утворення великих крапель, підвищеної димності відпрацьованих газів (ВГ) та зростання витрат палива. Та навпаки, різке відключення подачі паливним насосом високого тиску (ПНВТ) при недостатній швидкості голки розпилювача форсунки, призводить до закидання газів у розпилювач, закоксування його поверхонь та отворів.

Інша вимога - виключення довільного додаткового впорскування. Його появи сприяє негерметичність розвантажувального паска нагнітального клапана та підвищене значення тиску початку впорскування.

Керувати кутом випередження подачі налива необхідно з метою оптимізації робочого процесу. Паливний насос високого тиску з механічним регулятором, що найбільш масово використовується в даний момент в вітчизняній техніці, що експлуатується в аграрному комплексі, забезпечує управління кутом випередження подачі палива за 1...3 параметрами. Деякі з автомобільних дизелів, що випускаються сьогодні, не мають регулювання кута випередження подачі палива (ММЗ-245 для вантажівки ЗІЛ 5301 «Бінок», ГАЗ із дизелем Steyr), що не відповідає сучасним вимогам. Вважається, що ці вимоги нижчі для тракторів з огляду на наявність одного переважного режиму роботи, що не до кінця відповідає дійсності щодо тракторів. Трактори працюють у високому діапазоні крутних моментів при різних обертах. Таким чином кут випередження подачі палива є одним із найважливіших параметрів роботи паливної апаратури.

Найважливішим параметром роботи паливної апаратури є циклова - подача. Даний параметр повною мірою визначає витрату палива та значно

впливає на екологічність, токсичність та ефективність роботи дизельного двигуна. Крім названих вимог та умов процесу паливоподачі до паливної апаратури пред'являються також вимоги, виконання яких обумовлюється проектуванням та повинно забезпечуватися в процесі експлуатації:

- мінімальні вартість та маса, висока технологічність (у структурі вартості автомобільного дизеля ПА досягає від 25... 40%);
- стабільність показників подачі палива протягом терміну експлуатації;

- зручність в обслуговуванні, ремонті та регулюванні;
- забезпечення максимального ресурсу в межах ресурсу двигуна (ресурс ПА високооборотних дизелів 4...10 тис. В рік);

З вищевикладеного можна дійти невтішного висновку, що тенденція в електронному управлінні роботою ПА очевидна і дуже продуктивна, проте не можна досягти високої ефективності та екологічності роботи парку машин лише запровадженням нової техніки в сучасною паливною апаратурою. Залишається і широко використовується великий парк машин, техніки моделей 80-90 років, модернізація якої недоцільна і часто неможлива. Для забезпечення оптимальної ефективності роботи, надійності та відповідності сучасним нормам екологічності, паливну апаратуру необхідно підтримувати в задовільному стані, а основні нормовані параметри роботи в заданих межах нормативно-технічної документації шляхом діагностування та за рахунок організації технічного обслуговування та ремонту.

1.4. Аналіз методів та засобів для діагностування дизельної паливної апаратури

В даний час на ринку налічується велика кількість діагностичного

обладнання, яке дозволяє визначити технічний стан вузлів та агрегатів, а також контролювати параметри їх роботи. Незважаючи на наявність великої номенклатури, всі засоби для діагностування можуть бути поділені на три групи, залежно від принципів, що лежать в основі методів діагностування.

- віброакустичний;
- за характером підйому голки форсунки;
- за параметрами (амплітудно-фазовим) тиском палива в лінії нагнітання.

Проводяться порівняльні оцінки за критеріями ефективності, достовірності, економічності, технологічності та перспективності наявних на сьогоднішній момент методів діагностування.

В основу методу віброакустичного діагностування покладено реєстрацію та аналіз спектральних характеристик амплітудно-фазових параметрів окремих імпульсів вібрації, створюваних вібродатчиком, що знаходиться на певному місці досліджуваного об'єкта. Виконаними дослідженнями встановлено, що спектральні характеристики вібропроцесу

значною мірою визначаються станом прецизійних пар та параметрів регулювання паливної апаратури. Діагностування тим методом проводитиметься на основі стандартної осцилограми. Для збільшення співвідношення сигнал-перешкода та приведення інформації до виду,

пристосованого для подальшої постановки діагнозу, необхідно зробити ряд дій щодо виділення корисного сигналу таких як посилення, фільтрацію, стробування, детектування та кореляційну обробку

Використання кореляторів у складі віброакустичних систем підвищує можливості методу, проте призводить до значних витрат часу та засобів. Що стосується діагностування паливної апаратури, найкращі результати були досягнуті при діагностуванні форсунки, реалізації спектра

акустичного сигналу, що певною мірою полегшує завдання виділення корисної інформації. Проте технічна реалізація цього методу потребує апаратних витрат. Це є великим рівнем перешкод, створюють складність виділення корисної інформації.

Більш перспективним є принцип вимірювання амплітудно-фазових параметрів вібросигналу. Дослідженнями встановлено, що такі характеристики паливоподачі, як кут випередження вприскування, циклова подача і тиск початку вприскування, в принципі можуть бути оцінені за фазовими або часовими параметрами імпульсів шуму, генеруються працюючою форсункою. Як приклад на малюнку 1.4 наведено залежність тривалості вприскування від кількості вприскуваного палива, отриманого на стенді, стенд діагностування дизельної паливної апаратури (СДПА) - і

під навантаженням при постійних обертах. Як впливає з наведених результатів вимірювання, дисперсія показань приладу має значну величину (рис. 1.4).

Аналізуючи результати, отримані з урахуванням амплітудно-фазового віброакустичного принципу, можна дійти невтішного висновку, що за певними характеристиками він перевищує спектральний спосіб виділення корисної інформації. Однак використання осцилографа, на екрані якого здійснюються всі вимірювальні операції, дещо ускладнює процес контролю.

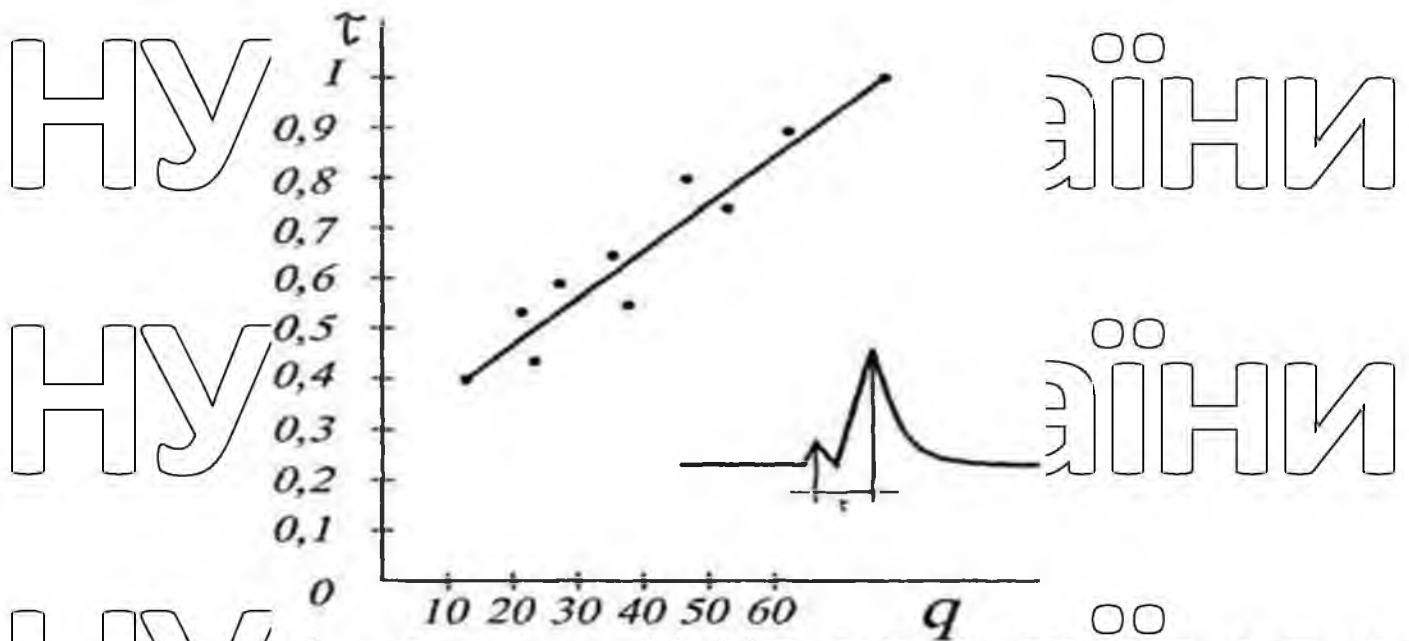


Рисунок 1.4 - Залежність тривалості вприскування від кількості палива.

Проведені літературні дослідження методом віброакустичної діагностики дозволяють зробити висновок, що можливість оцінки таких характеристик, як тиск початку вприскування палива P_c , кут випередження початку подачі палива та кількість палива, що подається Q , існує, але за неодмінної умови стабільності режимів контролю. Місце встановлення приймана вібрації також відіграє важливу роль. Слід зазначити складність технічних засобів діагностування. Основна перевага віброакустичного методу – його технологічність. На сучасних автомобілях вона трохи втрачається у зв'язку з необхідністю проведення робіт для розбирання для доступу до форсунок при встановленні датчиків. Тому при порівняно великих матеріальних витратах на апаратуру віброакустичний метод дозволяє реєструвати обмежений перелік параметрів і не дає достатньої достовірної оцінки технічного стану паливної апаратури. Тому цей метод поки що не знайшов широкого практичного застосування. Проте, порівняльна технологічність віброакустичного методу не викликає сумніву у доцільності подальших досліджень у цьому напрямку. Одним з

головних показників, що визначають характер і якість процесу згоряння, є характеристика вприскування палива – інтегральна чи диференціальна.

Інтегральна характеристика вприскування відображає залежність сумарної кількості вприскуваного палива при куті повороту від φ_0 до φ_1

та матиме вигляд:

$$Q_{(\varphi)} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} V_{(\varphi)} d\varphi \quad (1.1)$$

де Q – кількість палива, що подається в залежності від повороту кулачкового валу, m^3 ;

φ_1 – кут повороту кулачкового валу, градус;

V – об'єм палива, m^3

Диференціальна залежність миттєвої витрати палива від кута повороту валу насоса виражається співвідношенням.

$$V_{(\varphi)} = \frac{dQ_{(\varphi)}}{d\varphi} \quad (1.2)$$

У проведених експериментальних дослідженнях було зазначено, що якісно датчик подачі палива реєструє картину, аналогічну характеру підйому голки форсунки, що встановлює зв'язок між характеристиками підйому голки та витратою палива за цикл, що дозволяє розробити прилад

для вимірювання витрат палива (ПВП) на працюючому двигуні. На рис.1.5 наведено графік залежності показників ПВП та хвилинної подачі палива через форсунку. Ця залежність має лінійний характер на всьому діапазоні

подач.

НУ

НУ

НУ

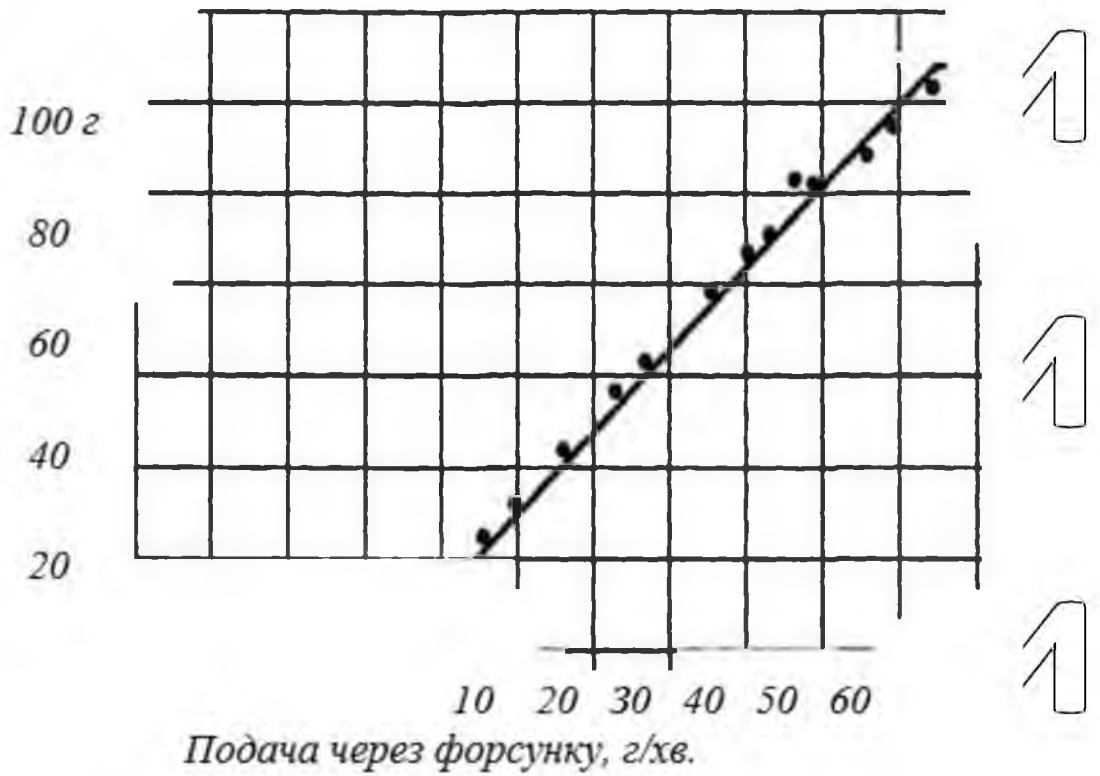


Рисунок 15 - Залежність показань приладу витрати палива від подачі
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Проведені дослідження є основою впровадження даного методу вимірювання циклової подачі палива через форсунки. Структурна схема даного методу вимірювання циклової подачі палива представлена на рисунку 1.6.

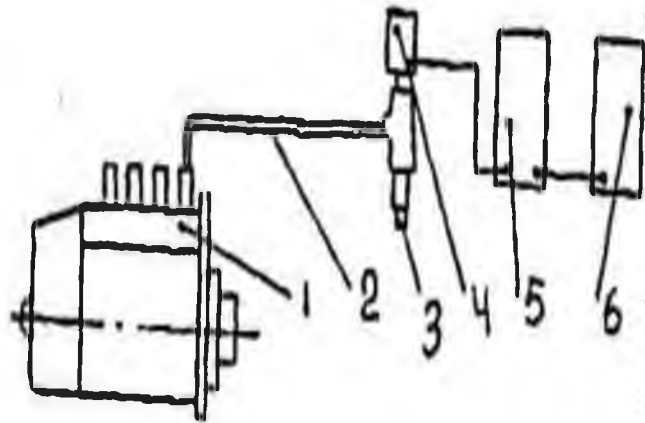


Рисунок 1.6. - Схема вимірювання витрат палива через

форсунки

1-насос; 2-грубопровід високого тиску; 3-форсунка; 4- датчик підйому голки; 5-інтегратор; 6-реєстратор

В момент вприскування сигнал датчика підйому голки надходить на інтегратор, що дає на виході інтеграл вхідної напруги. Реєстратор можна використовувати як осцилограф, так і стрілочний прилад. Можливості методу дозволяють реєструвати посекційну витрату палива, нерівномірність подачі палива, кут випередження та тривалість вприскування палива з достатньою точністю, що є перевагою даного методу. Однак цей прилад може працювати тільки з еталонною форсункою тоді як випробування паливного насоса необхідно проводити зі штатним комплектом форсунок, що робить цей метод мало прийнятним для практичного впровадження, але цікавим для дослідження.

Найбільшого поширення, як у нас в країні так і за кордоном, набув

метод діагностування щодо зміни амплітудно-фазових параметрів тиску палива в нагнітальній магістралі.

Суть даного методу діагностування полягає у реєстрації амплітудно-фазових параметрів тиску вприскування та візуальному порівнянні форми кривої тиску палива з еталонною. Дослідженнями ДЕРЖСНІТІ (Державний науково-дослідний технологічний інститут експлуатації та ремонту машинно-тракторного парку), AVL, встановлено принципову можливість оцінки технічного стану паливної апаратури тиску на екран .

Отримана осцилограма тиску палива в системі паливоподачі дизельного двигуна у штуцера форсунки, що спостерігається на екрані осцилографа, порівнюється з еталонною. Шляхом порівняльного

аналізу діаграм проводиться оцінка технічного стану паливної апаратури. Крім інформації про технічний стан деяких прецизійних елементів паливної апаратури за формою кривого тиску, метод дає можливість вимірювання регульовальних параметрів, таких як тиск

початку вприскування палива, максимальний тиск вприскування палива, момент початку подачі палива і кут випередження подачі палива, тривалість вприску, частота обертання колінчастого валу або валу паливного насоса. Усього за даними фірми AVL за допомогою

комплекту апаратури типу «AVL - 850» можна оцінити технічний стан паливної апаратури за 24 параметрами. Час діагностування двигуна становить 30 – 60 хвилин.

Проте результати досліджень фірми AVL майже не прийнятні для практичної реалізації на вітчизняних дизелях. Усі дослідження проводилися на зарубіжних типах автомобілів, тоді як конструктивні особливості паливної апаратури істотно впливають на характер процесу паливоподачі. Наступні дослідження, проведені в УКСДІ

дозволили оцінити можливості даного методу на вітчизняних конструкціях паливної апаратури та було здійснено подальшу розробку методу.

Дослідженнями в ВІАТі ставилася мета розробки комплексного приладу та технології діагностування паливної апаратури двигунів ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 та "Шкода". Розроблений комплекс моделі АД-2К дозволяє визначити регульовані характеристики ПА та технічний стан її окремих елементів. Блок-схема комплексу АД-2К наведено на рисунку 1.7.

Прилад дозволяє реєструвати частоту обертання колінчастого валу, фазові параметри процесу паливоподачі, осцилографування сигналу тиску. Вимір кута випередження подачі палива здійснюється за допомогою стробоскопа. В конструкції використаний серійний осцилограф Е-206. У приладі АД-2К використовують тензодатчики, що встановлюються в розриві паливоподачі та штуцера форсунки. Відмінною особливістю запропонованої методики є використання тензодатчиків, перехід на цифровий вимір деяких параметрів та розробка еталонних осцилограм. Проте, складність апаратури та необхідність ручних операцій налаштування перед вимірюванням окремих параметрів, з використанням табличних поправок, призводить до ускладнення технології діагностування та не дає достовірних результатів вимірювання. Крім того, помилка методу при вимірюванні деяких фазових та амплітудних параметрів, по суті, співпадає з інструментальною, а також не враховується статистична сторона контролю.

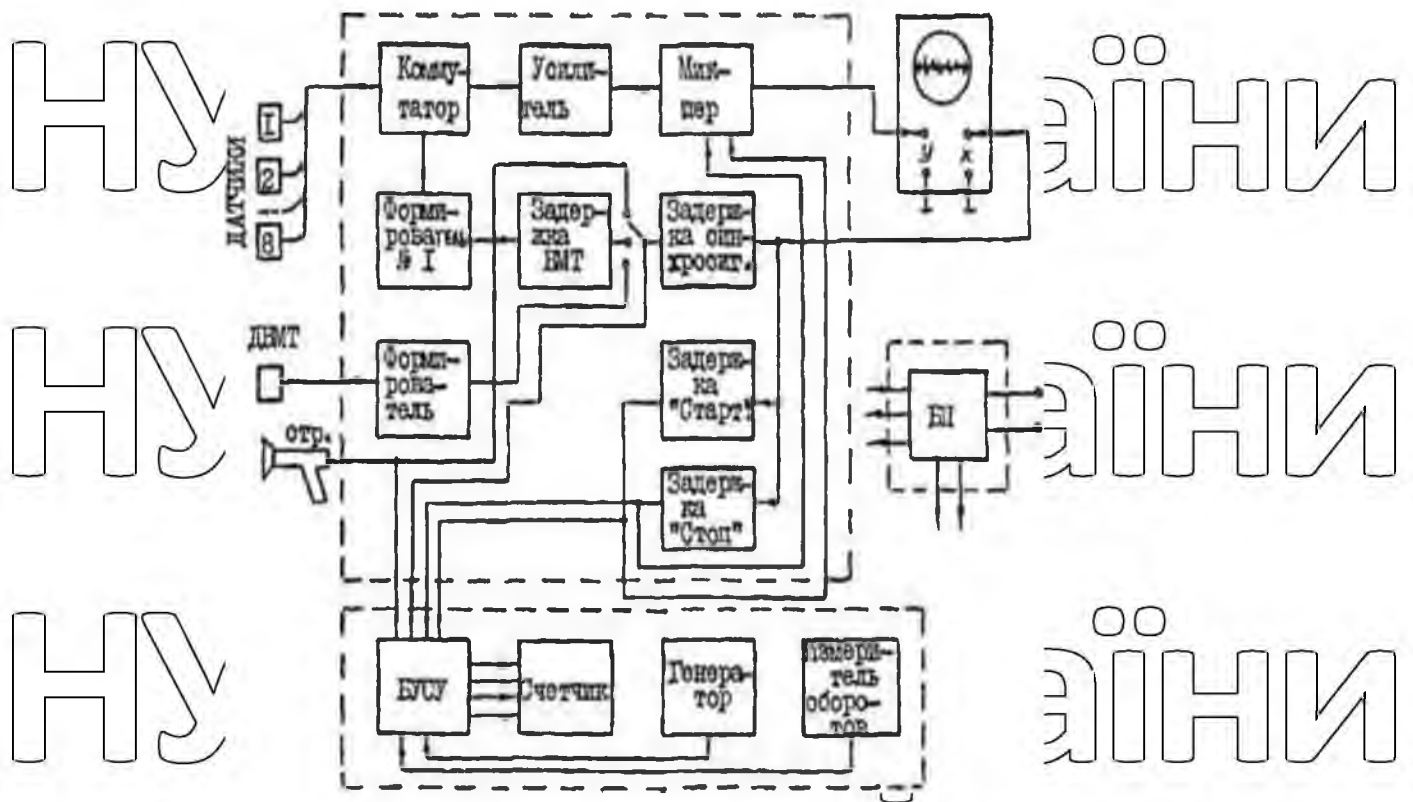


Рисунок 1.7 - Блок схема приладу діагностування ПА дизельних двигунів.

При аналізі переваг і недоліків амплітудно-фазового методу слід зазначити, що ставилися два завдання:

- перше завдання полягало в оцінці вихідних показників працездатності паливної апаратури, таких як кут початку та тривалість подачі палива, тиск початку вирискування та максимальний тиск паливоподачі. Як показує аналіз результатів досліджень, даний метод за своїми характеристиками перевищує віброакустичний метод, поступаючи йому трудомісткістю.

- іншим завданням ставився пошук та оцінка неполадок паливної апаратури на рівні прецизійних елементів шляхом більш глибокого аналізу амплітудно-фазових параметрів, використовуючи осцилограм тиску. І тут всі позитивні результати були отримані за наявності однієї несправності у певному елементі паливної апаратури в лабораторних

умовах, тобто, для ідеального випадку. Результати досліджень для випадку довільного поєднання кількох неполадок, характерних для реальної ситуації, не наводяться, що не дозволяє дати оцінку достовірності та трудомісткості методу для реальних умов експлуатації автомобілів.

Як показує аналіз літературних джерел, вирішення проблеми створення засобів діагностування з урахуванням існуючих методів реалізується на двох рівнях. На першому рівні забезпечується контроль технічного стану вузла або системи автомобіля за обмеженим набором діагностичних параметрів, перевірка яких регламентується технічними умовами чи іншими нормативними документами. Як засоби діагностування першого рівня найбільш раціонально використовувати переносні прилади.

На іншому рівні здійснюється більш поглиблене діагностування, яке ставить своїм завданням комплексну перевірку технічного стану автомобіля аж до пошуку та виявлення відмов структурних елементів вузлів та систем автомобіля. Рішення поставленої задачі в разі складає основу стаціонарних засобів діагностування.

Створення засобів діагностування, як зазначено [16], можливо на принципах автоматизованих діагностичних систем, що включають ЕОМ, стенди, забезпечені модулями та абонентськими пунктами, з виходом на персональний комп'ютер.

В даний час, на підставі використання обчислювальної техніки, нових сучасних датчиків та можливості узгодження їх роботи з використанням пакетів сучасних програм, стає можливим створення переносних, високоефективних діагностичних стендів для комплексного діагностування паливної апаратури, що застосовуються

в умовах експлуатації.

НУБІП України

1.5 Висновки. Мета та завдання до магістерської роботи

1. Аналіз роботи агропромислового комплексу показує, що обсяги виробництва спали за останні роки на 14%.

НУБІП України

2. Встановлено, що 28% відмов мобільної техніки припадає на дизельні двигуни, з них 42% відмов - на вузли та агрегати паливної апаратури, забезпечення надійної роботи яких є одним із першочергових завдань при експлуатації тракторів та комбайнів.

НУБІП України

3. Оброблені дані, що показали недостатню кількість нової техніки, що надходить в експлуатацію, дозволяють зробити висновок про необхідність підвищення вимог до експлуатаційної надійності техніки вторинного використання.

НУБІП України

4. Паливній апаратурі властиві переважно параметричні відмови, що мають поступову природу відмови, внаслідок чого вони піддаються попередженню та прогнозуванню.

5. В даний час немає достатньо ефективних засобів -

НУБІП України

інструментального діагностування паливної апаратури дизелів двигунів.

6. Найбільш ефективним способом управління технічним станом є своєчасне проведення технічного обслуговування та ремонту за станом, на підставі даних, отриманих при діагностуванні.

НУБІП України

7. Виявлені тенденції збільшення кількості операцій технічного обслуговування та ремонту проведених в умовах експлуатації техніки, як в вітчизняній, так і зарубіжній практиці віддають перевагу управління технічним станом техніки на місці її експлуатації.

НУБІП України

Основною метою досліджень є розробка методу та засоби діагностування дизельної паливної апаратури в умовах експлуатації.

Для реалізації поставленої мети необхідне вирішення наступних завдань.

- вибір основних параметрів роботи паливної апаратури та дослідження їх взаємозв'язку та впливу на роботу дизельного двигуна;

- розробка математичної моделі, що визначає взаємозв'язок основних параметрів роботи дизельної паливної апаратури;

- розробка нового комплексного методу та стенду для діагностування дизельної паливної апаратури на підставі визначення значень обраних -

параметрів її роботи в умовах експлуатації техніки;

- проведення експлуатаційних випробувань запропонованого діагностичного стенду;

- розробка алгоритму керування технічним станом паливної апаратури дизелів в умовах експлуатації;

- визначення економічної ефективності від впровадження розробленого методу діагностування паливної апаратури дизелів.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

2.1 Прогнозування зміни технічного стану машин методами діагностування

Діагностика - наукова дисципліна, що розкриває теорію, методи та засоби визначення технічного стану об'єкта без розбирання, або при мінімальному розбиранні.

Основним завданням технічної діагностики є підвищення надійності, ресурсу та ефективності експлуатації машин.

Найважливішим показником надійності машин є відсутність відмов під час їх функціонування (безвідмовність), оскільки відмова може призвести до невиконання функціональних завдань та економічних втрат.

Основним завданням інструментального діагностування є розпізнання технічного стану об'єкта з достатньою точністю в умовах обмеженої інформації. Аналіз стану повинен проводитися в умовах експлуатації, при яких отримання інформації в повному обсязі є дуже ускладненим, тому часто неможливим за наявної інформацією зробити однозначний висновок, у цьому випадку використовуються методи нечіткої логіки, що ґрунтуються на попередньо зібраній статистиці.

Теоретичною базою для вирішення основного завдання технічної діагностики стала загальна теорія розпізнання образів. Різні алгоритми розпізнавання частково ґрунтуються на діагностичних моделях. При обґрунтуванні рішення використовуються методи теорії статистичних рішень. Використовуючи вказані методи, стає можливим з високим ступенем ймовірності прогнозувати ймовірність безвідмовної роботи об'єкта за годину t - величина, що статистично характеризується

ставленням числа об'єктів, що безвідмовно експлуатувалися до
напрацювання t , до об'єктів, працездатних у початковий момент (при
 $i \rightarrow c$), $p = m/n$.

Залишковий ресурс - прогнозований термін безвідмовної роботи

об'єкта до переходу до граничного стану, що обчислюється з
прогнозування [16].

На підставі вищесказаного, можна зробити висновок, що
діагностування робить можливим визначення технічного стану
агрегатів, механізмів і систем машин без їх розбирання або з частковим
розбиранням, і прогнозування залишкового ресурсу складових частин
машин.

Основними завданнями технічного діагностування є:

- моніторинг технічного стану для машин з метою встановлення -
відповідності значень параметрів вимогам технічної документації;
- перевірка справності (готовності) машин або їх складових частин
з високою достовірністю;

- Пошук дефектів із установленою глибиною пошуку;

- встановлення місця та причини відмови (несправності);
- збір вихідних даних для прогнозування залишкового ресурсу
складових частин;

- призначення рекомендацій за результатами діагностування виду,

- обсягу, місця та строку ремонтно-обслуговуючих робіт;

Для кожної машини, що діагностується, встановлюються
нормативні показники надійності при експлуатації.

Технічне діагностування дуже впливає на інтенсивність

використання техніки, що характеризується коефіцієнтом технічної
готовності. Попередження відмов, їх оперативне усунення знижують

простої машин з технічних причин, збільшують їх продуктивність і якість виконуваних операцій, що позитивно позначається на термінах виконання робіт, сприяє отриманню додаткового доходу виробниками продукції (рис. 2.1). Тому діагностування практично застосовується в тому чи іншому обсязі при всіх видах технічного обслуговування та ремонту техніки.

Місце технічного діагностування в системі технічного обслуговування машин представлено на рисунку 2.2. Останнім часом діагностування застосовують при доборі машин у процесі передпродажного обслуговування, при сертифікації сервісних робіт, технічному огляді (особливо автомобілів), оцінці вартості при купівлі та продажу вживаних машин і агрегатів, а в останній час все частіше діагностування застосовується безпосередньо при використанні машини не робоча година безпосередньо на місці роботи з використанням малогабаритних діагностичних засобів. У зв'язку з підвищенням складності машин застосування, діагностування стало необхідним при технологічному регулюванні (налаштуванні) лісових машин та при впровадженні автоматизації як контрольної операції для підтвердження можливості якісного функціонування об'єкта [16].

Для зменшення витрат часу та коштів на проведення операцій технічного обслуговування, підвищення ймовірності безвідмовної роботи за рахунок попередження виникнення неполадок під час технічного обслуговування виконуються діагностичні операції, що дозволяють оцінювати стан машин без розбирання та встановлювати залишковий ресурс їх агрегатів та вузлів, а за результатами діагностування приймати рішення щодо обсягу ремонтно-обслуговуючих робіт. Складові частини, які потребують ремонту,

виключаються з операцій технічного обслуговування.

Діагностичні операції в кожному випадку визначаються індивідуально для певного класу машин та умов, у яких вони працюють.

Операції діагностування запропоновані в технологічних картах, виконуються у заданій послідовності, що забезпечує високу якість результатів діагностування. При цьому встановлюють, чи вимірний - діагностичний параметр P_i в діапазоні $R_n - R_d$; $R_d - R_p$, де R_n , R_d ; R_p - відповідно номінальне, допустиме і граничне значення параметра.

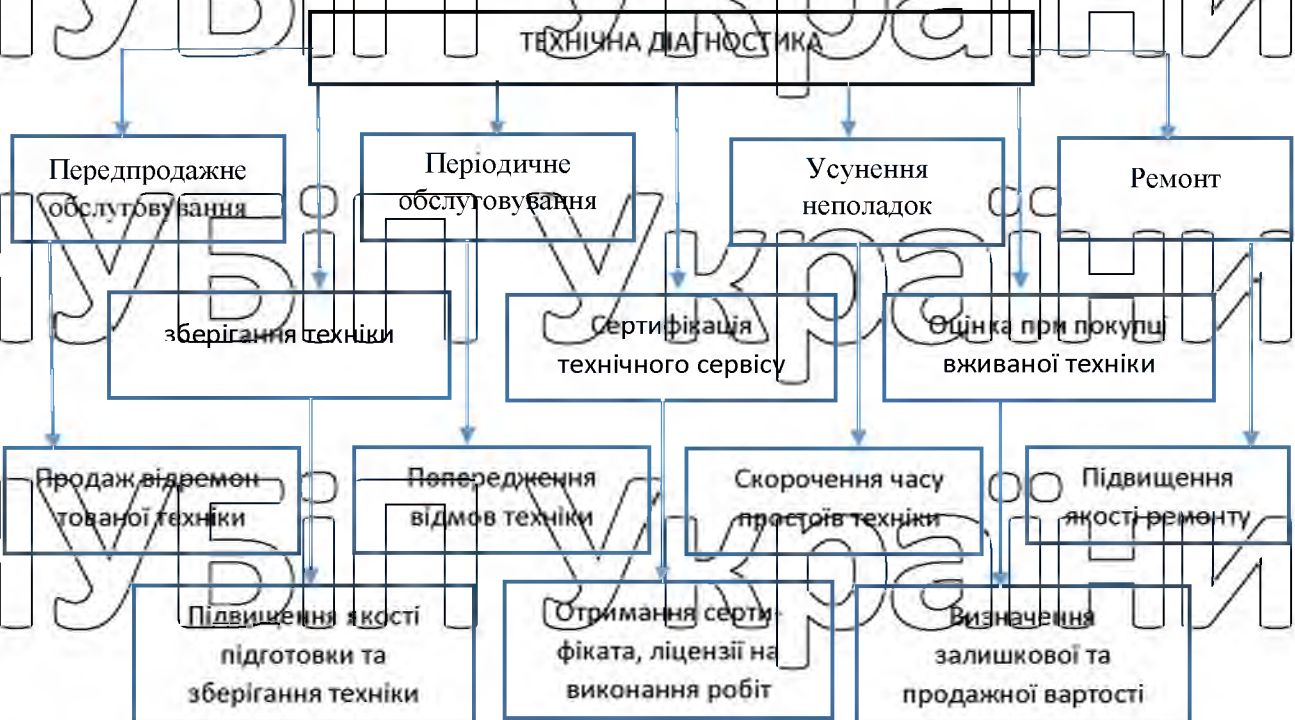


Рисунок 2.1 Роль технічної діагностики у підвищенні ефективності роботи сільськогосподарської техніки

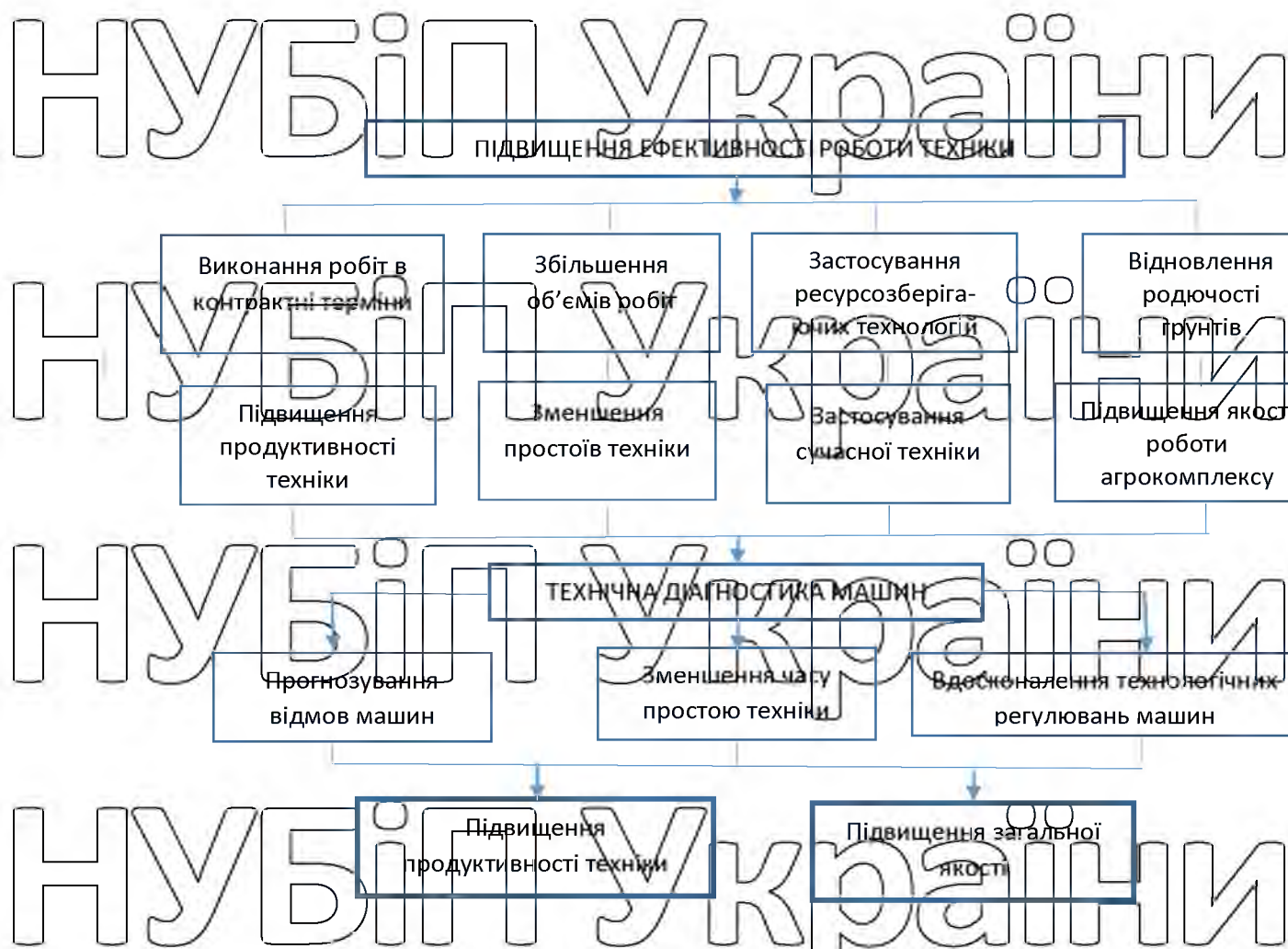


Рисунок 2.1 – Місце діагностики в системі технічного обслуговування та ремонту машин

Необхідність ремонту та можливий залишковий ресурс машини та її агрегатів визначається за результатами діагностування та ресурсними параметрами за відомого напрацювання від початку експлуатації або від останнього технічного впливу.

Діагностування за ресурсними параметрами з метою встановлення об'ємів та видів ремонту повнокомплектних машин та їх агрегатів проводять, як правило, за технічного обслуговування №3 (ТО-3), що передусє поточному або капітальному ремонту, а також при виникненні відмов третьої групи складності. У першому випадку діагностують всі агрегати машини, в іншому – ті, які відмовили.

Якщо критерії граничного стану складових частин не можуть бути

визначені за діагностичними параметрами без розбирання агрегатів, розбирання проводять у обсязі, необхідному для прийняття рішення.

При діагностуванні вимірюють значення параметрів складових частин агрегату P_i і порівнюють їх з граничними P_{Γ} і значеннями, що допускаються ($P_{д1}$, $P_{д2}$ і $P_{д3}$).

На малюнку 2.3 показано зв'язок ймовірності відмови з технічними вимогами на технічне обслуговування та ремонт. В даному випадку розглядаються найпростіші випадки лінійного відхилення параметра, знесення деталі, з'єднання після їх приробітку. Тут відхилення параметра $F(t)$ має вигляд:

$$F(t) = |P(t) - P_n|, \quad (2.1)$$

де, t - напрацювання; $P(t)$ - виміряне значення параметра; P_n - номінальне значення параметра.

Граничне відхилення параметра F_{Γ} можна висловити:

$$F_{\Gamma} = |P_{\Gamma} - P_n|, \quad (2.2)$$

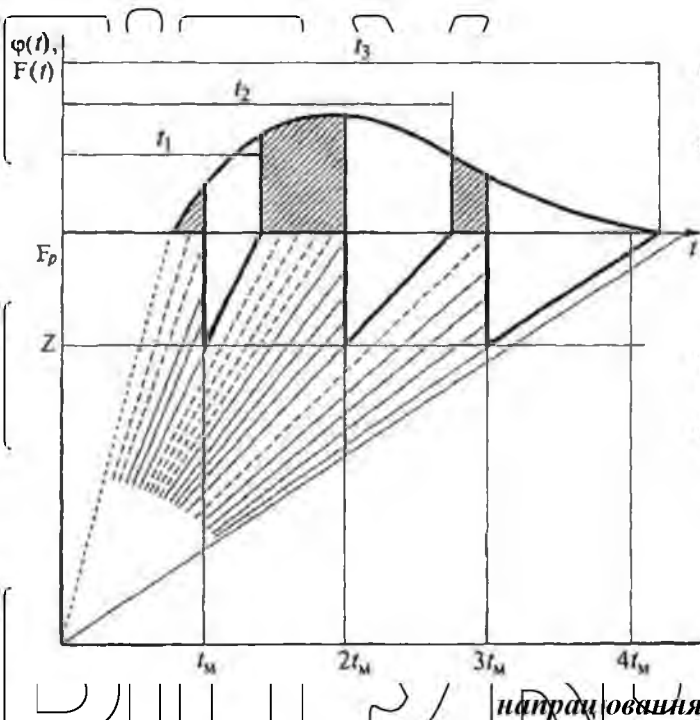
де P_{Γ} - граничне значення параметра;

Допустиме відхилення Z параметра:

$$Z = |P(t) - P_d|; \quad (2.3)$$

де, P_d - допустиме значення; $p(t)$ - щільність розподілу ресурсу .

Критичні та допустимі значення параметрів визначають методом - прогнозування динаміки параметрів за середнім статистичним.



t_2 - напрацювання до початку відмов;

t_3 - напрацювання до кінця розподілу ресурсу за параметром

Рисунок 2.3 - Вплив допустимого відхилення параметра Z та міжремонтного напрацювання t_M на ймовірності відмови (заштриховані площі) та запобіжній заміні (не заштриховані площі) складової частини.

Технічними вимогами, які безпосередньо впливають на ймовірність відмови та несправності, виступають дві основні величини: допустиме відхилення параметра (знос) Z і між контрольне напрацювання t_M . Таким чином, дотримання цих установлених величин зумовлює безвідмовність машин під час експлуатації, можливість мінімізації простоїв, витрат на технічне обслуговування та ремонт машин у часі їх використання.

Точки перетину пучка прямих, що розширюються, характеризують відхилення параметра, з горизонтальною прямою його граничного відхилення F_p формують неперервну щільність розподілу технічного ресурсу складової частини за параметром. За наявності відхилення параметра Z допускається випадкова величина технічного ресурсу стає дискретно неперервною.

Дискретність з'являється внаслідок заміни (регулювання) складової частини з відхиленням параметра більше Z на момент години $t_M, 2t_M, 3t_M$ і т.д. Складові будуть відмовляти в інтервалах $(t_M-t_1; 2t_M-t_2; 3t_M-t_3)$. Проте за результатами контролю (діагностування) при технічному огляді вони були запобіжно відновлені.

Складові частини відхилення параметрів, стан яких більший за допустимі, відмовляють далі після досягнення граничного відхилення внаслідок відносно великої швидкості зміни параметра (зношування).

Імовірність відмови таких складових частин відповідає заштрихованим площам.

Досягнення параметром граничного відхилення F_p обумовлює відмову елемента. Якщо щільність розподілу ресурсу $\varphi(t)$ визначається за $\theta > Z < F_p$,

ймовірність відмови у міжконтрольному періоді можна визначити за формулою:

$$q_i(Z, t_M) \int_{t_{i-1}}^{t_M} \varphi(t) dt \quad (2.3)$$

де, $t_{i-1} = \left(\frac{F_p}{Z}\right)(i-1)t_M, i = 1, 2, \dots, m_i$

При $i = 1$ величина $t_{i-1} = 0$. Відмови спостерігаються за умови, що

верхня межа інтеграла більша за нижню. Зі збільшенням i ця різниця убуває,

а значить, і знижується ймовірність відмови у зв'язку зі зменшенням швидкості зміни параметра (зносу деталей), що видно з рисунку 2.3. Останній експлуатаційний період, в якому буде відмова:

$$m_1 = \left\lceil \frac{1}{1 - \frac{Z}{F_p}} \right\rceil \quad (2.4)$$

Тут квадратні дужки вказують, що слід брати цілу частину числа. Чим ближче Z наближається до F_p , тим більше спостерігається ймовірність відмови, навпаки, при наближенні Z до нуля, ймовірність відмови зменшується. При $Z=F_p$ маємо стратегію TO і P за потребою після відмови, тобто, ймовірність відмови дорівнює 1, а за $Z = 0$ - регламентну, за $0 > Z < F_p$ є стратегія за станом (за результатами діагностування).

На підставі вищевикладеного, одна з основних проблем високоякісного технічного обслуговування та ремонту полягає в оптимізації відхилень параметрів, що діагностуються, визначення оптимального набору параметрів, що діагностуються, та термінів міжконтрольних напрацювань як технічні вимоги. Оптимізацію здійснюють з урахуванням економічних характеристик, пов'язаних із відмовою, попереджувальним відновленням та ефективністю діагностування машин.

2.2 Взаємозв'язок параметрів роботи паливної апаратури та визначення найбільш значущих

Робота паливної апаратури визначає якість, надійність, стабільність, економічність та екологічність роботи дизельного двигуна. Для досягнення цих показників роботи дизеля необхідно підтримувати параметри паливподачі в заданих межах. Параметри процесу паливподачі наведено на

малюнку

2.4.



Рисунок 2.4 – Головні параметри процесу паливоподачі. На підставі вивчення накопичених теоретичних знань та практичного досвіду використання, діагностування та ремонту дизельної паливної апаратури основними, виділеними залежними параметрами паливоподачі є:

- кут випередження подачі палива;
- тиск початку впорскування палива;
- кількість палива, що подається (циклова подача палива).

Кут випередження подачі палива є одним із основних параметрів роботи паливної апаратури дизеля.

Насамперед, слід розділяти поняття «кут випередження подачі палива» та «кут випередження впорскування палива». Кут випередження подачі палива відповідає моменту закриття приймального вікна плунжером у втулці золотникового насоса або моменту закриття всмоктувального каналу в клапанних насосах.

Кут випередження впорскування палива відповідає моменту початку підйому голки форсунки. Кут випередження подачі палива та кут випередження впорскування палива не рівні між собою; кут випередження подачі палива менше кута випередження впорскування палива на 5-15°. Ця відмінність пояснюється тим, що паливо, як і будь-

яка інша рідина, вважається непридатною за таких високих стискань, які створюються в паливному насосі високого тиску, паливо помітно стискається. На величину кута випередження впорскування впливають також швидкості збільшення тиску на ділянці від паливного насоса

високого тиску до форсунки, затяжка пружини голки форсунки, маса деталей рухомих форсунок, тривалість трубопроводу високого тиску і залишковий тиск палива в ньому, щільність палива. Кут випередження

впорскування палива можна визначити за умов експлуатації дизеля. Кут випередження подачі палива визначають тільки в результаті стендових випробувань дизеля на заводі-виробнику за допомогою електричних індикаторів (метод визначення кута початку подачі палива з використанням моментоскопу застарілий і до того ж не застосовується на машинах, що знаходяться в експлуатації).

Кут випередження подачі палива залежить від системи паливоподачі і частоти обертання колінчастого валу дизеля, і він тим більше, чим більша частота обертання.

Різним швидкісним режимам роботи дизеля відповідає своє оптимальне з паливної економічності значення кута випередження впорскування палива. Зі зменшенням частоти обертання (збільшенням періоду часу, що відводиться на процес сумішоутворення) оптимальне значення кута випередження подачі палива знижується. Так, для дизеля Д-240, при зниженні частоти обертання з 2000 до 1400 хв^{-1} значення кута випередження подачі палива необхідно зменшувати з 25° до 19° до верхньої мертвої точки (ВМТ). У дизелях без наддуву зі зменшенням навантаження при постійній частоті обертання подача повітря практично не змінюється, тому незначно змінюються тиск і температура в кінці такту стиснення.

Умовою, що забезпечує появу звуку є відсутність підвищеного тертя або залипання голки в корпусі розпилювача. Якісне впорскування палива в камеру згоряння визначається на дію роботи форсунки, на правильність якої більшою мірою впливає якість палива. З цієї причини, параметри розпилювання та дисперсності впорскуваного палива важко прогнозовані і не несуть, будь-яких закономірних змін і більшою мірою залежать від якості палива. Також якість розпилу безпосередньо

залежить від тривалості впорскування, та тиску початку впорскування.

Необхідною умовою формування якісного процесу впорскування та палива подачі є дотримання регламентованого значення тиску

впорскування. Тиск впорскування впливає на такі характеристики

процесу паливоподачі, як далекобійність струменя палива (довжина L), її

ширину, кут конуса струменя p , дрібність розпилювання палива. Перші

три параметри визначають ступінь охоплення струменем простору КЗ,

також якість сумішоутворення. При збільшенні P_{fm} зростає об'єм

струменя і досягається більш повне охоплення камери згоряння

струменями палива, що розпилюється. Однак надмірне збільшення тиску

впорскування призводить до понадання палива на відносно холодні

стілки камери згоряння, його неповного згоряння та зниження

економічності. При зниженні P_{fm} довжина струменя стає меншою від

відстані від розпилювача до стінки КС і має місце не повного

використання повітряного заряду, зменшення локальних значень

коефіцієнта надлишку повітря, зниження ефективності робочого процесу,

збільшення димності ОГ. Таким чином, тривалість струменя та його

об'єм значною мірою впливають на перебіг процесу сумішоутворення.

При підвищенні тиску впорскування якісно змінюється протікання

процесу сумішоутворення: збільшуються швидкості протікання палива

по відрізах, що розпилюють (турбулізація потоку) та швидкості

поширення струменів палива в камері згоряння (КЗ). Розпад струменя

палива починається безпосередньо біля отвору розпилювача. Ці фактори

призводять до покращення якості розпилювання палива.

Як зазначено вище, поліпшення зазначених характеристик

вприскування палива призводить до більш рівномірного розподілу

палива за об'ємом камери згоряння. Підвищення тиску впорскування, що

забезпечується шляхом збільшення об'ємних швидкостей подачі палива плунжером насоса, супроводжується скороченням часу впорскування ($t_{\text{вп}}$) при заданій цикловій подачі палива.

Дати початку впорскування палива та кут випередження подачі палива, зазначені вище, мають прямий вплив на основний параметр роботи топ зливної апаратури - кількість подачі палива. Кількість палива, що подається, є результируючим показником, а його зміни, що підкоряються законам зміни паливоподачі та зовнішнім факторам використання машини, свідчать про якість роботи паливної апаратури.

Таким чином, потужність, надійність, економичність та екологічні показники дизеля залежать від параметрів паливоподачі і багато в чому від основних параметрів: тиск початку впорскування, кут випередження

подачі палива, кількість подається. Відхилення цих параметрів від нормативних значень призводить до падіння потужності, збільшення витрат палива, погіршення екологічних показників та скорочення ресурсу дизеля. Основні параметри паливоподачі повинні

контролюватись в процесі технічного обслуговування та ремонту дизельної паливної апаратури в умовах експлуатації. Враховуючи, що на даний момент немає можливості вимірювати циклову подачу палива в умовах експлуатації лісозаготівельної техніки, висновок про що зроблено

в розділі 1, слід розробити метод визначення циклової подачі розрахунковим способом на підставі вимірювання кута випередження подачі палива та тиску початку впорскування.

2.3 Теоретичне обґрунтування можливості визначення кількості впорскуваного палива математичним розрахунком

В даний час існує велика теоретична база, накопичена при вивченні

роботи паливної апаратури з використанням широко поширеної - обчислювальної техніки, електроніки, різних датчиків. На підставі досліджень, стала можливою розробка математичної моделі для визначення розрахунковим методом кількості палива, що подається (циклової подачі).

Елементарний обсяг палива Q_p , що вприскується в камеру згоряння (КЗ) за проміжок часу Δt , можна виразити наступним рівнянням:

$$Q_p = \mu_p f_p C_{впр} t \quad (2.5)$$

де, Q_p - кількість палива, що вприскується, m^3 ; t - час, s ;

$C_{впр}$ - поточне значення швидкості закінчення подачі палива через розпилюючі отвори форсунки, m/s ;

$\mu_p f_p$ - фактична пропускна здатність отворів форсунки, m^2 .

У разі, якщо задана частота обертання зі n (або $n_{тн}$) кулачкового валу паливного насоса високого тиску, прийняти як незалежну змінну слід прийняти не годину Δt , а різницю положення кулачкового валу паливного насоса високого тиску між початком і закінченням вприскування $s_{р_{тн}}$ від повороту кулачкового валу, пов'язаний з часом співвідношенням:

$$\Delta t = \frac{\varphi_{нв} - \varphi_{кв}}{\omega_{тн}} = \frac{\varphi_{тн}}{(6n_{тн})} = \frac{\varphi_{нв} - \varphi_{кв}}{(6n_{тн})} \quad (2.6)$$

де, $\varphi_{тн}$ - величина повороту кулачкового валу паливного насоса;

$\varphi_{\text{нв}}$ – положення кулачкового валу на початку впорскування, град;
 $\sqrt{M \cdot S \cdot \rho_T \cdot V_{\text{Д}}} \cdot t$ – положення кулачкового валу в момент закінчення
 впорскування рад;

$n_{\text{тн}}$ – частота обертання кулачкового валу паливного насоса високого
 тиску, с^{-1} .

Тоді основне рівняння кількості палива, що подається, можна
 виразити через елементарний об'єм Q_p впорскувань у камеру згоряння за

проміжок часу виражений поворотом кулачкового валу паливного насоса
 високого тиску $\varphi_{\text{тн}}$ матиме вигляд:

$$Q_m = \mu_p \cdot f_p \cdot M \cdot \rho_T \times \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (P_{\text{впр}} - P_{\text{пр}})} \times \frac{\varphi_{\text{нв}} - \varphi_{\text{кн}}}{(6n_{\text{тн}})},$$

(2.7)

Ця теоретична формула має невизначені змінні, що робить її
 практично незастосовною при діагностуванні в умовах експлуатації.

Для приведення формули до робочого вигляду необхідно виділити
 основні параметри, що впливають на кількість впорскуваного палива.

Ефективний переріз форсунки, через який безпосередньо
 здійснюється впорскування палива в камеру згоряння визначається
 співвідношенням $\mu_p \cdot \varphi_{\text{тн}}$.

Площа перерізу соплових отворів форсунки визначається як:

(Blank space for the next formula)

$$\mu_p f_p = \frac{0,06nQ_e}{\varphi_{\text{тн}} \sqrt{2\Delta P} \rho_f} \quad (2.8)$$

де, ΔP - тиск струменя палива, що вприскується, г/м²;

$f_{\text{тн}}$ - площа перетину отворів розпилювача, м²;

μ_p - коефіцієнт витрати розпилювання (рекомендується

приймати $\mu_p = 0,6 - 0,7$);

n - оберти кулачкового валу в секунду с⁻¹; ρ - щільність палива, г/м³

Q_e - еталонна кількість палива, що пропускається через форсунку,

м³.

Перетворивши рівняння (2.8) можна вивести значення фактичного перерізу форсунки паливної апаратури дизеля. Фактична площа

перерізу

форсунки матиме вигляд:

$$\mu_p f_p = \frac{0,06nQ_e}{\varphi_{\text{тн}} \sqrt{2\Delta P} \rho_f} \quad (2.9)$$

Ще один фактор, який слід враховувати, при розрахунку фактичної кількості вприскування палива - є швидкість вприскування $V_{\text{впр}}$.

Вважають, що швидкість вприскування палива, тобто, швидкість закінчення подачі рідини через отвір $V_{\text{впр}}$, визначається як:

$$V_{\text{впр}} = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}} \quad (2.10)$$

де, $V_{\text{впр}}$ - швидкість вприскування, м/с; φ - коефіцієнт швидкості (безрозмірний).

Коефіцієнт швидкості, що впливає на швидкість вприскування, ґрунтується на оцінці характеру руху рідини. Для оцінки характеру руху

рідини прийнято використовувати критерій Рейнольдса, значення якого визначається з умов руху рідини в отворі:

$$Re = \frac{C_{впр} \mu_p f_p}{\nu_n} = \left[\sqrt{\left(\frac{2}{\rho_T}\right) P} \right] \frac{C_{впр}}{\nu_n}, \quad (2.10)$$

де, ν_n кінематична в'язкість палива м³/с.

На підставі попередніх досліджень встановлено, що швидкість руху палива, при розпиленні критеріїв Re рух рідини, завжди $Re > 10000$.

Коефіцієнт φ при $Re > 10000$ прийнято приймати -- $\varphi \sim 1$.

Враховуючи, що ΔP - тиск струменя палива, що вприскується, є різниця між тиском палива у форсунці і тиском середовища в яку проводиться впорскування, ΔP можна представити як:

$$\Delta P = P_{впр} - P_{np}; \quad (2.12)$$

де, $P_{впр}$ - тиск палива перед розпилюючими отворами, г/м²;

P_{np} - тиск середовища, в якому проводиться впорскування, г/м².

Розклавши перехідний тиск у форсунки, формулу швидкості частинок палива при впорскуванні слід записати наступним чином:

$$C_{впр} = \varphi \sqrt{2/\rho_T} \times (P_{впр} - P_{np}) \quad (2.13)$$

В даний час виміряти швидкість впорскування палива можливо за допомогою вимірювання тиску, що надається струменем впорскуваного палива на рухомий п'єзо акселерометричний датчик, який закріплений на мембрані і коливається під дією струменя зі швидкістю, що переймається.

На швидкість, що переймається, впливає час руху струменя до датчика і розсіювання енергії при русі, внаслідок чого швидкість датчика буде

нижчою за швидкість струменя впорскуваного палива. У такому разі швидкість датчика, на який впливає струмінь палива, можна уявити як:

$$V_D = \frac{C_{впр}}{(1 + K_n t_n C_{впр})} \quad (2.14)$$

де, V_D - швидкість датчика, м/с;

K_n - коефіцієнт втрати (розсіювання) енергії, 1/м,

t_n - час руху порції палива до зіткнення з датчиком, с.

Коефіцієнт K_n є коефіцієнтом розсіювання енергії. Цей коефіцієнт впливає на зниження енергії струменя палива при русі. Коефіцієнт K_n залежить від часу руху порції палива, відстані від перерізу випускного отвору форсунки та початкової швидкості порції палива, температури та щільності палива.

Для кожної порції палива існує певний коефіцієнт втрати енергії K_n . За дослідженням розвитку паливного струменя можна дійти невтішного висновку, що основними впливовими факторами є: щільність середовища, діаметр розпилюючого отвору і тиск впорскування палива. Мінімальний вплив на динаміку розвитку паливного струменя має в'язкість, щільність, температура, поверхневий натяг палива та в'язкість навколишнього середовища. Коефіцієнт втрати K_n визначається ґрунтуючись на базових експериментальних дослідженнях, в кожному конкретному випадку.

Струмінь палива, що впорскується в камеру згорання, можна представити як безліч окремо взятих масою. Сумарну масу частинок палива можна виразити рівнянням:

$$\Delta_{mk} = \mu_p f_p C_{впр} \rho_T \Delta t \quad (2.15)$$

де, Δm_k - сумарна маса частинок, гр.

Струмінь палива, що вприскується, має певну енергію. Сила, з якою струмінь палива впливає на датчик, є сумарною енергією

всіх частинок палива, що вприскується. Силу, з якою струмінь палива діє

на датчик, можна визначити за формулою:

$$F = \mu_{\text{пр}} f_{\text{пр}} \rho_m (C_{\text{впр}})^2 \quad (2.16)$$

де, F - сила дії струменя на датчик, $(\text{г} \times \text{м})/\text{с}^2$.

Якщо припустити, що енергія струменя перетворюється на енергію датчика, то умови збереження імпульсу можна записати, як:

$$MV_D = \Delta m_k C_{\text{впр}} \cos \theta, \quad (2.17)$$

або

$$M \cdot S \cdot \rho_T \cdot V_D \cdot \Delta t = (\Delta m_k)^2 \quad (2.18)$$

де, M - маса датчика, гр; S - площа струменя вприскуваного палива, м

2.

У такому разі сумарну масу частинок можна виразити через швидкість датчика:

$$\Delta m_k = \sqrt{M \cdot S \cdot \rho_T \cdot V_D \cdot \Delta t} \quad (2.19)$$

Результуючу кількість вприскуваного палива можна представити як суму мас усіх частинок вприскуваного палива.

$$Q_M = \Delta m_k \quad (2.20)$$

де, Q_M - кількість вприскуваного палива, гр.

Враховуючи, що швидкість V_D датчика виражена у формулі (2.14) пов'язана з масою частинок Δm_k виражених через рівняння (2.20),

кількість впорскування палива за масою, описана у формулі (2.19), слід записати як:

$$Q_M = \sqrt{M \cdot S \cdot \rho_T \cdot V_d \cdot \square t} \quad (2.21)$$

Параметри, що визначають кількість впорскуваного палива в рівнянні (2.21), повинні бути розділені на дві групи. У першу групу нами виділені наступні параметри, значення яких відомі: маса датчика M , перетин струменя палива S , що впорскується форсункою, яке для

достовірності вирахування має бути подане як фактичний пропускний переріз форсунки $\mu_p f_p$ частота обертання кулачкового валу паливного насоса високого тиску n_{nn} , положення кулачкового валу в момент

закінчення впорскування і кут випередження подачі палива (становище кулачкового валу на початок впорскування φ_{η_0}).

Напишемо рівняння (2.21) з поділом постійних та змінних параметрів

та виразивши годину

впорскування через рівняння

$$Q_M = \sqrt{M \mu_p f_p \rho_T} \times \sqrt{\vartheta_0} \times \frac{\Phi_{н.в.}}{\Phi_{к.в.}} \quad (2.6)$$

(2.22)

Виразивши швидкість датчика через швидкість струменя палива, враховуючи втрати, підставимо (2.14) рівняння (2.13) і отримаємо вираз швидкості датчика через різницю тисків і коефіцієнта втрати (p і K_v):

$$V_{\text{пр}} = \frac{\phi \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{T}}}} \times (P_{\text{впр}} - P_{\text{пр}})}{(1 + K_n \cdot t_n \cdot \phi \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{T}}}} \times (P_{\text{впр}} - P_{\text{пр}}))} \quad (2.23)$$

де, K_n – коефіцієнт втрати 1/м; t_n - час руху порції до датчика, с.

Отримаємо кількість палива, що подається, вираженого через змінні: тиск початку впорскування палива $P_{\text{впр}}$, та кута випередження подачі палива $\phi_{\text{вп}}$:

$$Q_m = \mu_p \cdot f_p \cdot M \cdot \rho_{\text{T}} \times \frac{\phi \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{T}}}} \times (P_{\text{впр}} - P_{\text{пр}})}{(1 + K_n \cdot t_n \cdot \phi \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{T}}}} \times (P_{\text{впр}} - P_{\text{пр}}))} \times \frac{\phi_{\text{вп}} - \phi_{\text{кн}}}{(6\pi_{\text{тп}})} \quad (2.24)$$

Таким чином, отримане рівняння, враховує всі аспекти, що впливають на кількість впорскуваного палива, що дозволяє з високою точністю розраховувати кількість впорскуваного палива, вимірюючи змінні (початок впорскування палива і кут випередження подачі палива).

Запропонована математична модель дозволяє створити на її базі діагностичний стенд, що дозволяє діагностувати циклову подачу палива в умовах експлуатації техніки. Для можливості застосування даної моделі потрібен пристрій здатний вимірювати всього два параметри роботи дизельної паливної апаратури - тиск початку впорскування палива та кут випередження подачі палива. Вимірювання даних показників на даний момент не становить складності, однак для оптимізації діагностування та застосування даної моделі, бажано, щоб вимірювання даних параметрів відбувалося одночасно і в інтерактивному цифровому форматі. Практична реалізація розробленої математичної моделі та створення на її основі діагностичного стенду дозволить проводити комплексне діагностування

дизельної паливної апаратури в умовах експлуатації без відриву техніки від виробництва.

2.4. Висновки

Проведений аналіз теоретичних передумов діагностування паливної апаратури дозволяє зробити такі висновки:

1. Основними параметрами роботи дизельної паливної апаратури, за якими можна зробити комплексний висновок про її стан, слід вважати:

тиск початку впорскування палива, кут випередження впорскування палива та циклову подачу.

2. Проведення моніторингу показавши відсутність інструментальних засобів діагностування, що дозволяють одночасно діагностувати всі три виділені параметри роботи дизельної паливної апаратури в умовах експлуатації.

3. Розроблено математичну модель взаємозалежності виділених параметрів роботи дизельної паливної апаратури, яка дозволяє розраховувати циклову подачу на підставі значень вимірюваних параметрів тиску початку впорскування палива та кута випередження подачі палива.

4. Отримані рішення дозволяють реалізувати новий метод діагностування технічного стану дизельної паливної апаратури в умовах експлуатації та визначати рівень необхідних та достатніх технічних впливів безпосередньо на місці роботи техніки.

5. Для реалізації запропонованого методу діагностування слід розробити та виготовити зразок діагностичного стенду.

6. Для апробації діагностичного стенду необхідно розробити методикку та провести експериментальні дослідження, вибрати об'єкт для проведення експлуатаційних випробувань з найпоширеніших зразків

техніки, що застосовуються в умовах сільгоспвиробництва та зібрати статистичні дані для практичного застосування математичної моделі розрахунку кількості палива, що вприскується.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА УМОВ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ

НУВБІП України

Дослідження в умовах експлуатації проводять безпосередньо на місці експлуатації техніки. Об'єктом дослідження є робочі параметри тієї ж

НУВБІП України

паливної апаратури, яка вже була продіагностована в лабораторних умовах по агрегатно і після чого була встановлена на іншу машину

Апробований експериментальний зразок діагностичного стенду був створений згідно з технічним завданням, написаним на підставі

НУВБІП України

розробленої методики з використанням розробленої математичної моделі.

Після складання, в польових умовах, діагностичний стенд встановлюється в безпосередній близькості від комплекту паливної апаратури, що

НУВБІП України

діагностується, на тракторі МТЗ-82 (рис. 3.10).

Після встановлення стенда з двигуна трактора Д-240 демонтується одна форсунка, та встановлюється експериментальний діагностичний стенд з невеликим вигином робочого паливопроводу трактора (рис. 3.11).

НУВБІП України

Наступною дією, після встановлення форсунок в експериментальний діагностичний стенд з паливного насоса високого тиску знімається кришка, що закриває торець кулачкового валу, для

можливості контролю положення кулачкового валу паливного насоса високого тиску в момент упорскування з використанням стробоскопа.

НУВБІП України

Після експериментального діагностичного стенду вихідним каналом підключається стробоскоп і запускається програмне забезпечення,

синхронізується робота п'єзоакселерометричного датчика та спалахів стробоскопа. Робота всіх вимірювальних датчиків забезпечується за

НУВБІП України

допомогою програмного забезпечення, вираженого програмою

LABVIEW. Після виконання всіх настановних та налагоджувальних операцій запускається дизель.

Дизельний двигун працює від трьох форсунок на холостому ході, а з роботи першої форсунки знімаються вимірювання параметрів.

Вимірювання проводяться з відключеним регулятором та зафіксованою у нерухомому положенні рейкою на номінальному режимі роботи при вприскуванні палива.

Паливо, що вприскується, виходячи з розпилювачів форсунки, потрапляє (вдаряється) на датчик п'єзоакселерометра, від удару струменя палива датчик спрацьовує і перетворює тиск струменя в електричний імпульс (рис. 3.1).



Рисунок 3.1. Встановлення форсунки в експериментальний зразок діагностичного стенду, безпосередньо на тракторі МТЗ 82

Електричний імпульс з датчика перетворюється з отриманого аналогового імпульсу на цифровий сигнал, після чого посилюється (рис.3.2).

З надходженням сигналу від п'єзоакселерометричного датчика на ЕОМ з моменту початку подачі палива одночасно з початком його обробки

посилається сигнал на стробоскоп, який у свою чергу засвічує в контрольований момент положення кулачкового валу паливного насоса високого тиску. Фіксуючи його положення в момент уприскування, і тим самим визначається кут випередження подачі палива, який надсилається цифровим сигналом на портативний комп'ютер. Чітка фіксація кулачкового валу паливного насоса високого тиску, щодо моменту вприскування, дає чітку картину спалаку палива, що вприскується, щодо координат положення валу в умовах динамічних випробувань.

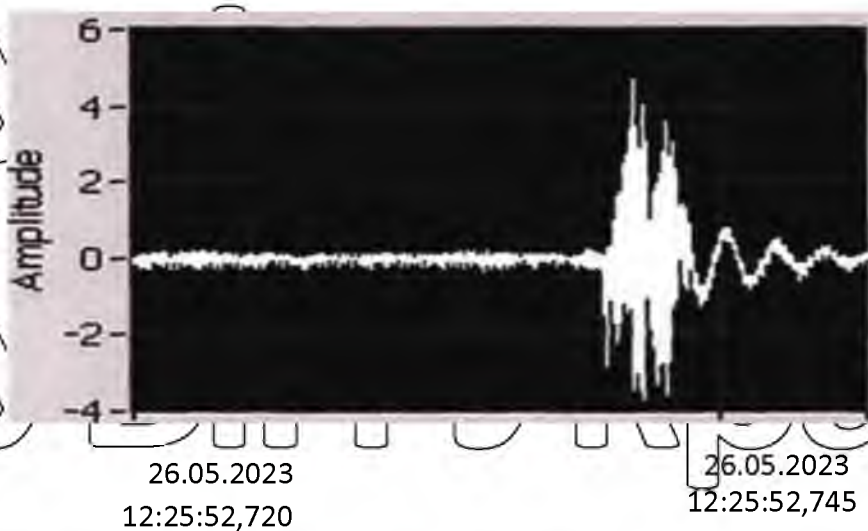


Рисунок 3.2 Імпульс тиску струменя палива

Електричний імпульс з датчика перетворюється з отриманого аналогового імпульсу на цифровий сигнал, після чого посилюється (рисунок 3.3).

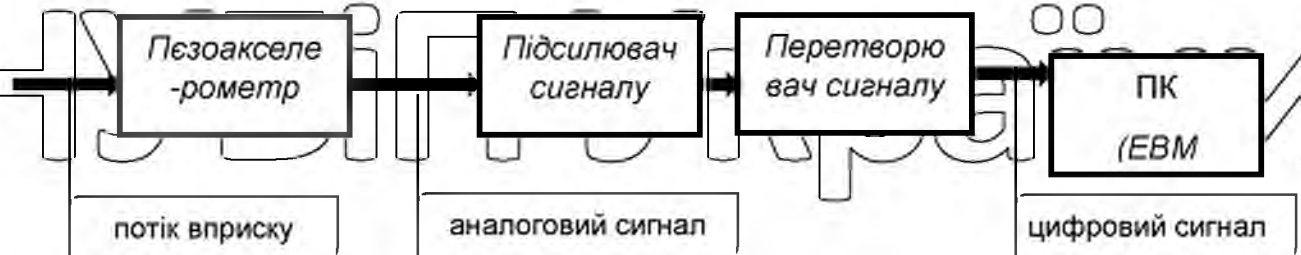


Рисунок 3.3 - Схема отримання цифрового сигналу тиску подачі палива

Таким чином, експериментальний зразок діагностичного стенду вимірює два параметри з трьох, що діагностуються.

Вимірювані параметри - тиск впорскування та кут випередження подачі палива - фіксуються для розрахунку кількості налива, що подається і після наступної перевірки точності діагностування.

Після отримання вимірених даних з певної кількості циклів (збільшення кількості циклів підвищує точність діагностування), у нашому випадку кількість циклів рано 50 як наказує посібник з діагностування, на портативному комп'ютері стенду створюється база даних конкретного

вимірювання, на підставі якої з використанням розробленої математичної моделі (формула 2.24) розраховується третій параметр, що діагностується - циклова подача палива. Розраховане значення циклової подачі зберігається в пам'яті комп'ютера.

Результатом проведення випробувань експериментального стенду в умовах експлуатації має стати підтвердження його працездатності, апробація, уточнення технології його експлуатації, а також отримання знятих в умовах експлуатації бази даних параметрів роботи паливної апаратури, яка

дозволить у розділі 4 провести порівняльний аналіз стандартного та запропонованого методів діагностування паливної апаратури та зробити висновок про його точність, трудомісткість, а також про можливість та доцільність його застосування.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Результати лабораторних досліджень

4.1.1. Результати вимірювання тиску початку вприску палива

Результатами проведених лабораторних досліджень відповідно до програми випробувань, розробленої в розділі 3, є отримані параметри роботи форсунок ФД-22 з обраного комплексу паливної апаратури - тиск початку подачі палива. Отримані результати вимірювання тиску початку вприскування палива наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1
Значення тиску початку вприскування палива вимірюного приладом КІ-5918

№ п/п	Р МПа	№ п/п	Р МПа	№ п/п	Р МПа	№ п/п	Р МПа	№п/п	Р МПа
1	17,4	11	17,4	21	17,6	31	17,6	41	17,8
2	17,6	12	17,4	22	17,5	32	17,7	42	17,6
3	17,4	13	17,5	23	17,4	33	17,8	43	17,9
4	17,4	14	17,8	24	17,5	34	17,9	44	18
5	17,8	15	17,6	25	17,7	35	17,8	45	17,6
6	17,4	16	17,6	26	17,8	36	17,6	46	17,4
7	17,9	17	17,8	27	17,8	37	17,6	47	17,5
8	17,6	18	17,9	28	18	38	17,7	48	17,6
9	18	19	17,9	29	17,6	39	17,5	49	17,6
10	17,5	20	17,7	30	17,7	40	17,8	50	17,8

При аналізі отриманих даних з теорії помилок слід точність міри (точність приладу) характеризувати за допомогою середнього квадратичного відхилення випадкових помилок вимірювань. Для оцінки слід використовувати «виправлене» середнє квадратичне відхилення s' , враховуючи, що зазвичай результати вимірювань взаємно незалежні і мають однакову дисперсію (у разі рівнозначних вимірювань), то оцінку точності вимірювань можна здійснити за допомогою довірчих інтервалів. В даному випадку при випробуваннях був використаний стандартний стенд КІ-5918,

що застосовується зараз у більшості сервісних підприємств. Для досягнення достовірності вимірів було проведено 50 рівнозначних випробувань.

Для отримання істинних значень при побудові залежностей використовувався метод побудови довірчого інтервалу для закону

нормального розподілу при малому обсязі вибірки. При об'ємі вибірки ($n=50$) для розрахунку спостерігаються середніх значень, використовується розподіл

Ст'юдента, оскільки отримані з послідовних вибірок значення децю відрізняються від нормального розподілу [89]. При цьому частка вибірок,

розташованих у межах довірчих інтервалів виявиться меншою, ніж для вибірок більшого обсягу. Відповідно для малих вибірок знижується частка

справжніх значень параметрів генеральної сукупності, розташованих у цих інтервалах.

Для побудови довірчих інтервалів для малих вибірок використовується t -розподіл Ст'юдента. Вводячи до уваги коефіцієнт Ст'юдента для малих вибірок отримаємо:

$$t_{\alpha n} = \frac{\varepsilon \sqrt{n}}{S_n} \quad (4.1)$$

аналогічний коефіцієнт t_a для великих вибірок, довірчих інтервалів можна виразити нерівністю:

$$P\{x - t_a n S_m - M_x < X + t_a n S_m\} = a \quad (4.2)$$

Значення коефіцієнта t_a табульовані (табл. 4.1).

Розрахуємо довірчий інтервал для лабораторних вимірів (стандартного методу) (таб. 4.1).

Числові характеристики вибірки:

максимальне значення $X_{min} = 17.4$;

мінімальне значення $X_{max} = 17.9$.

1) Середнє арифметичне значення:

НУБІП України

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum X_i = \frac{1}{50} 883 = 17,66$$

2) Обчислюємо стандартне середнє квадратичне відхилення:

НУБІП України

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} (x_i - 17,66)^2}{50-1}} = 0,3697$$

3) Обчислюємо стандартну похибку вибірових середніх:

$$S_m = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \frac{0,3697}{\sqrt{50}} = 0,0523$$

НУБІП України

4) Відповідно задаємо $\alpha = 0,98$, для $n = 50$ знаходимо:

$$t_{\alpha n} = 2,4$$

5) Визначаємо довірчий інтервал:

$$(X_{cp} - t_{\alpha n} S_m) \leq M_x \leq (X_{cp} + t_{\alpha n} S_m)$$

НУБІП України

або:

$$(17,66 - 2,4 \cdot 0,05229) < M_x < (17,66 + 2,4 \cdot 0,05229)$$

Та залишково:

$$(17,66 - 0,125496) < M_x < (17,66 + 0,125496)$$

НУБІП України

$$(17,5345) < M_x < (17,7854)$$

Таким чином величина довірчого інтервалу з довірчою ймовірністю

$\alpha = 0,98$ містить справжнє значення середньої генеральної сукупності.

Довжина довірчого інтервалу отриманих параметрів, тиску початку вприскування палива, становитиме: $\Delta_1 = 0,2509$

НУБІП України

Отримане значення довірчого інтервалу є критерієм оцінки точності порівняно з іншими довірчими інтервалами різних методів.

НУБІП України

4.1.2. Результати вимірювання кута випередження подачі палива

Під час досліджень паливного насоса високого тиску ПНВТ Д4УТН-5 в

лабораторних умовах, продіагностований один з найважливіших параметрів роботи паливної апаратури - кут випередження подачі палива на діагностичному стенді Motorpal NC-132 (оснащений стробоскопом), за

методикою діагностування описаної в розділі 3. Результати проведених випробувальних вимірювань кута випередження подачі палива представлені .

Проаналізуємо отримані дані з теорії помилок аналогічно до параграфу 4.1.

Розрахуємо довірчий інтервал для лабораторних вимірів (стандартного методу) (таблиця 4.2):

Числові характеристики вибірки:

Максимальне значення $X_{max} = 20$, Мінімальне значення $X_{min} = 18$

1) Середнє арифметичне:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{50} \cdot 941,5 = 18,83$$

2) Обчислюємо стандартне середнє квадратичне відхилення:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} (x_i - 18,83)^2}{50-1}} = 0,084$$

Таблиця 4.2

Значення кута випередження подані вимірною палива на стенді
Motorpal NC-132

№ п/п	Ф град	№ п/п	Ф град	№ п/п	Ф град	№ п/п	Ф град	№ п/п	Ф град
1	18,5	1	19	21	19	31	19	41	18
2	18,5	12	19,5	22	18,5	32	18,5	42	18
3	18	13	19,5	23	18	33	19,5	43	19,5
4	18	14	19	24	18,5	34	19	44	19,5
5	19	15	18	25	18,5	35	18,5	45	19
6	19	16	18,5	26	19	36	19,5	46	19
7	19,5	17	18	27	19,5	37	19	47	18
8	18	18	19,5	28	19,5	38	18,5	48	19,5
9	19	19	19,5	29	18,5	39	18,5	49	18
10	19	20	19	30	18,5	40	19,5	50	19

Для визначення точності розрахуємо довірчий інтервал:

Числові характеристики вибірки:

Максимальне значення $X_{max} = 19,5$

Мінімальне значення $X_{min} = 18$

1 - середнє арифметичне:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{50} \cdot 941,5 = 18,81$$

2 - обчислюємо стандартне середнє квадратичне відхилення:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} (x_i - 18,81)^2}{50-1}} = 0,0768$$

3 - обчислюємо стандартну помилку вибірових середніх:

$$S_m = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \frac{0,0768}{\sqrt{50}} = 0,0108$$

4 - відповідно задаємо: $\alpha = 0,98$ для $i = 50$ знаходимо:

$$t_{\alpha} = 2,4$$

5 - визначаємо довірчий інтервал генеральної сукупності:

$$(X_{cp} - t_{\alpha n} S_M) \leq M_x \leq (X_{cp} + t_{\alpha n} S_M)$$

або

$$(18,83 - 2,4 \cdot 0,01085) < M_x < (18,83 + 2,4 \cdot 0,01085)$$

Та остаточно:

$$(18,81 - 0,02604) < M_x < (18,81 + 0,02604)$$

$$(18,7839) < M_x < (18,83604)$$

Таким чином, величина довірчого інтервалу з довірчою ймовірністю

$\alpha = 0,98$ містить справжнє значення середньої генеральної сукупності.

Довжина довірчого інтервалу генеральної сукупності значення параметра кута випередження подачі палива виміряного пропонованим методом

$$\Delta_2 = 0,0521$$

Побудуємо графік результатів виміряних співвідношень значень отриманих параметрів кута випередження подачі палива - методів що використовуються та запропонованого (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 - Отримані значення параметра кута випередження подачі палива різними методами

При визначенні кутів випередження початку подачі палива на вже існуючих стендах зазвичай використовують контактні датчики. Найбільш поширеним та характерним стендом на даний момент є Motorgal NC-132. В експериментальному зразку діагностичного стенду вимірювання кута

випередження подачі палива відбувається з контактного пьезоакселерометричного датчика, що має виступ, та закріпленого на мембрані, що коливається. На малюнку 4.4 показано: кут випередження подачі палива та тривалість для кожної камери згоряння 4-циліндрового двигуна, діагностовані на різних стендах в лабораторних умовах.

Дані, що знімаються на різних стендах з одного і того ж двигуна, що перевіряється, відрізняються незначно. Різниця у визначенні кута початку подачі палива та тривалості вприскування представлена на рис. 4.5.

Запізнення при вимірі кута випередження подачі палива різними методами діагностування показано в таблиці 4.6.

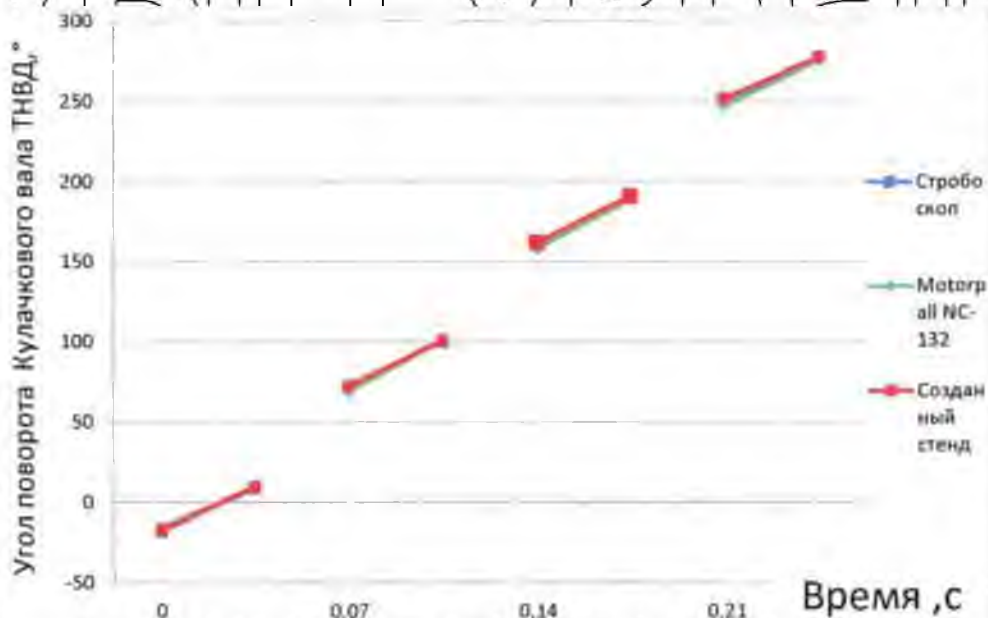


Рисунок 4.4 - Значення параметра кута випередження подачі палива по всіх секціях 4-циліндрового ПНВТ 4УТНМ5 двигуна: Д-240 відносно верхньої мертвої точки першого поршня, взятого за «0» при відліку

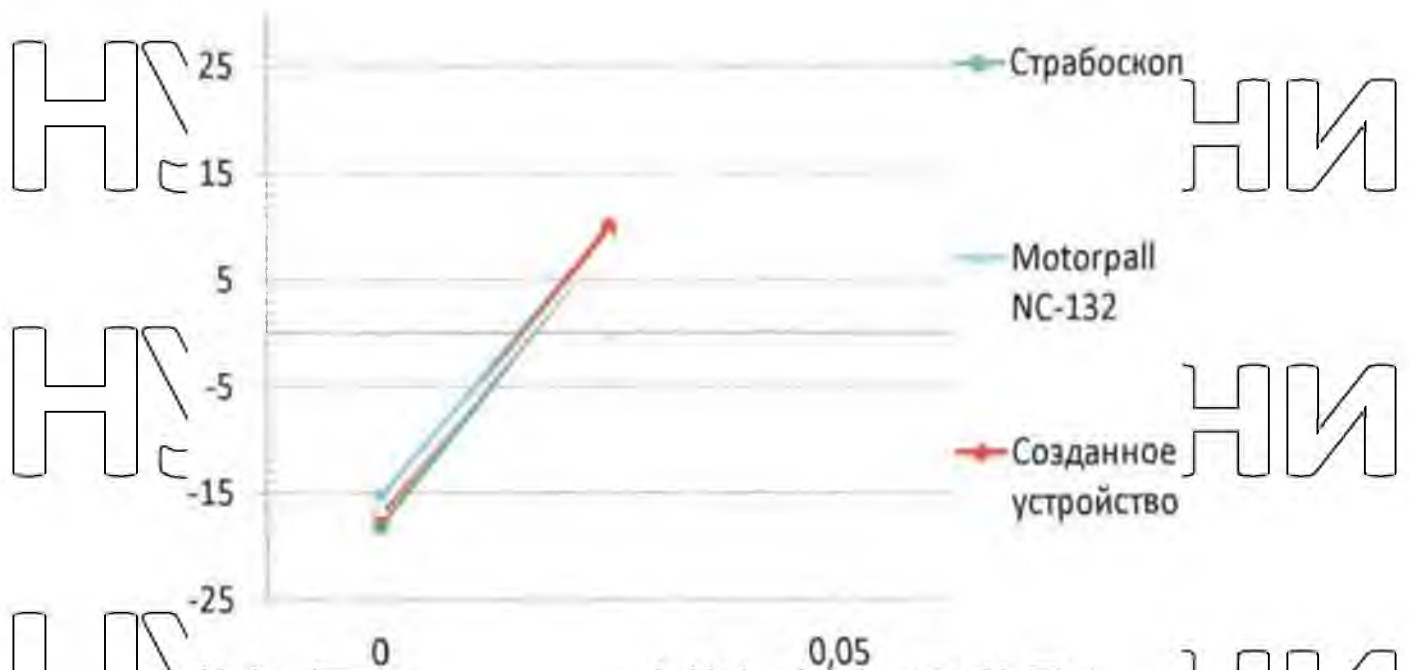


Рисунок 4.5 – Порівняння, визначення кута випередження початку впорскування та тривалості, отриманих із застосуванням різних стендів

Таблиця 4.6

Значення запізнення при вимірі кута випередження подачі палива

Тип стенду	Метод визначення	Кут запізнення початка паливоподачі за стробоскопом <i>Град.</i>	Кут запізнення за дачником за результатами - осцилографування, <i>Град.</i>
Моторпал	Створений тиск паливом в камері замикає контакт	12,5	9,8
Створений стенд	Фіксація початку подачі палива із форсунки, п'єзоакселерометром.	12,5	11

При вимірі кута випередження подачі палива існує такий показник, як запізнення вимірювання кута подачі палива. Це проміжок часу виражений градусами повороту кулачкового валу, що витрачається на фіксацію вимірюваної величини. Та виражає кут запізнення, при вимірі кута випередження подачі палива (рис. 4.6).

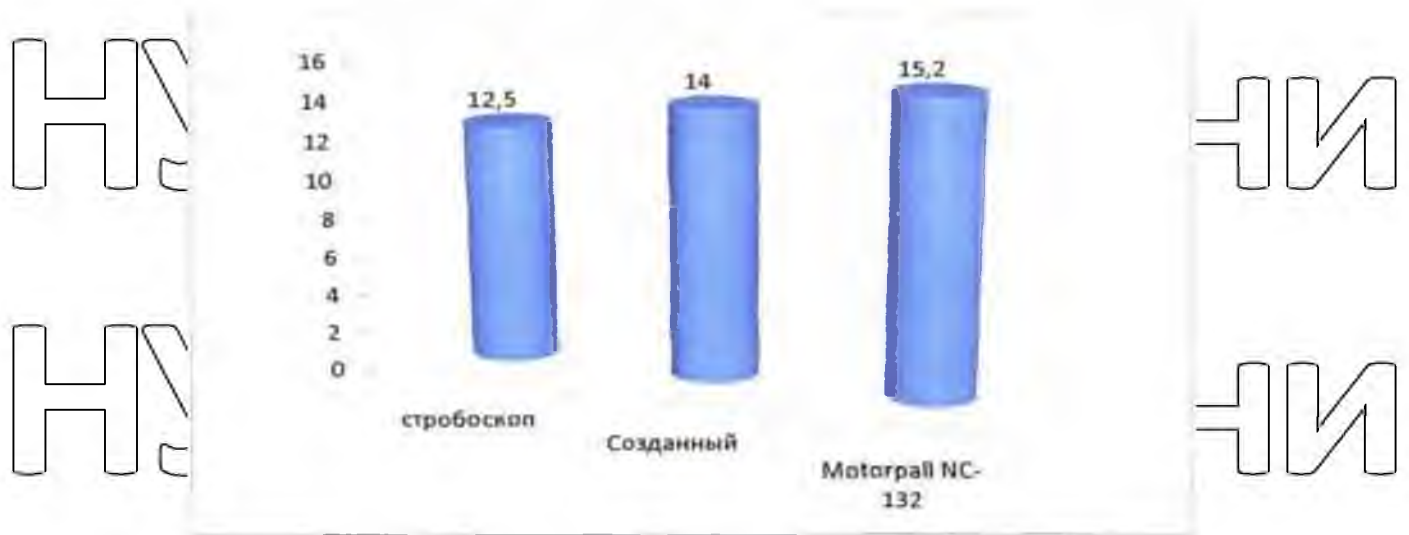


Рисунок 4.6 – Кут запізнення під час вимірювання кута випередження подачі палива

Як видно з рис.4.6, кут запізнення, в порівнянні з стробоскопом, становить: 2.5° (стенд Motorpall NC -132); створений стенд – 1.7-1.4°.

З даних вимірів можна дійти невтішного висновку, що кут запізнювання початку впорскування залежить від методу і датчиків, за допомогою яких визначається.

Для аналізу похибки визначення кута початку впорскування палива

розглянемо фактори, що впливають на кут запізнення спрацювання датчиків. Кут запізнення ($\beta_{\text{зап. сиг.}}$)

$$\beta_{\text{зап. сиг.}} = \Delta\beta_{\text{рух. стор.}} + \Delta\beta_{\text{рух. конт.}} + \Delta\beta_{\text{пр. сиг.}} + \Delta\beta_{\text{пох. опер.}} + \Delta\beta_{\text{інерц.}}, \quad (4.3)$$

У цьому рівнянні:

$\Delta\beta_{\text{рух. стор.}}$ - час руху струменя палива до контакту з датчиком, град;

$\Delta\beta_{\text{рух. конт.}}$ - час руху одного контакту датчика до іншого, град,

$\Delta\beta_{\text{пр. сиг.}}$ - час проходження сигналу від датчика, град;

$\Delta\beta_{\text{пох. опер.}}$ - суб'єктивна хибка оператора, град;

$\Delta\beta_{\text{інерц.}}$ - час для подолання сил інерції, с.

Наведені фактори, необхідно враховувати як такі, що впливають на

похибку. Дані фактори в конструкціях стендів повинні бути зведені до мінімуму, а за можливості, зовсім усунуті.

У запропонованому стенді такі фактори похибок, як *1/3* *зростають* *1/Вінер*, конструктивно відсутні. Таким чином, щоб забезпечити точність визначення дійсних фазових параметрів паливних насосів необхідно застосовувати датчики тиску, що дозволяють отримати повну інформацію про закон подачі палива, та датчик контролю кутового зміщення, що робить можливим повну прив'язку вузлових координат щодо кулачкового валу або колінчатого вала.

В результаті розрахунку показника точності та порівняння отриманих даних про значення параметра кута випередження подачі палива за кількома методами.

В результаті розрахунку показника точності та порівняння отриманих даних про значення параметра кута випередження подачі палива за кількома методами стало можливим зробити висновок про переваги запропонованого діагностичного пристрою з існуючими (рис. 4.7).



1 - існуючий 2 - запропонований
Рисунок 4.7 Довірчі інтервали різних методів вимірювання кута випередження подачі палива при діагностуванні

4.2. Розрахунок кількості вприскуваного палива та циклової подачі за математичною моделлю та порівняння з вимірними значеннями при лабораторних випробувань

Для апробації та практичного застосування запропонованого методу та розробленого у розділі 2, вираженою формулою 4.4 зробимо практичний

розрахунок кількості вприскуваного палива з використанням вже виміряного тиску вприску та кута випередження подачі палива, заданих постійних та лабораторно отриманих коефіцієнтів.

$$Q_M = \sqrt{\mu_p f_p M \varphi} \sum \sqrt{\frac{\varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_c} (P_{впр} - P_{нр})}}{(1 + K t_\varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (P_{впр} - P_{нр})})}} \times \frac{\varphi_{Тн}}{6\nu} \quad (4.4)$$

Отримані дані тиску початку вприскування палива ($P_{впр}$) наведено в табл. 4.4. Оскільки вимірювання проводилися в тих же умовах, що й інші, тоді $P_{нр}$ приймаємо умовно рівним 0. вприскування -22-26 °.

Ефективний прохідний переріз форсунки $\mu_p f_p$ обчислений за результатом багатьох досліджень, що становить $\mu_p f_p = 225 \times 10^{-6} \text{ м}^2$.

Робоча маса датчика залежить від його марки. Щільність палива приймається згідно з ГОСТ Р 52368-2005. Коефіцієнт швидкості, який можливо умовно вважати постійним φ , залежить від показника Re струменю подачі палива. Враховуючи що, у момент вприскування палива показник струменя $Re > 10\ 000$, застосовне значення $\varphi = 1$. Коефіцієнт

втрати, (розсіювання) енергії розкриття струменя при передачі K_n , визначається практичними методами і залежить від багатьох факторів.

Одним із визначальних є тиск уприскування, який у свою чергу збільшує розкриття струменя про фронт повітря, що залучається, чим зменшує

передачу енергії. Для практичного використання коефіцієнт був підібраний на підставі великих досліджень, проведених у лабораторних умовах.

Результати розрахунку за формулою представлені у табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Значення розрахованої кількості палива, що вприскується.

№ п/п	Q г	№ п/п	Q г	№ п/п	Q г	№ п/п	Q г	№ п/п	Q г
1	0,06059	11	0,06142	21	0,06059	31	0,06059	41	0,06059
2	0,06059	12	0,05976	22	0,06059	32	0,05934	42	0,05934
3	0,06059	13	0,05976	23	0,05934	33	0,05976	43	0,05976
4	0,05934	14	0,06059	24	0,05934	34	0,05893	44	0,06308
5	0,05934	15	0,06059	25	0,05934	35	0,06059	45	0,06142
6	0,06059	16	0,05934	26	0,05934	36	0,06308	46	0,05934
6	0,06059	16	0,05934	26	0,05934	36	0,06308	46	0,05934
7	0,05976	17	0,05893	27	0,06308	37	0,06142	47	0,05893
8	0,06059	18	0,05976	28	0,05976	38	0,06059	48	0,05976
9	0,05934	19	0,05976	29	0,05934	39	0,05934	49	0,06059
10	0,05893	20	0,05934	30	0,06059	40	0,05976	50	0,06059

Розраховану кількість палива, що вприскується, за формулою 4.4

переведемо в циклову подачу згідно з формулою 4.5, розраховані значення

циклової подачі подані у табл. 4.8.

$$V = \frac{S_n}{\sqrt{n}} \quad (4.5)$$

Таблиця 4

Значення розрахованої циклової подачі

№ п/п	Q мм ³ /цикл	№ п/п	Q мм ³ /цикл	№ п/п	Q мм ³ /цикл	№ п/п	Q мм ³ /цикл	№ п/п	Q мм ³ /цикл
1	73	11	74	21	73	31	73	41	73
2	73	12	72	22	73	32	71,5	42	71,5
3	73	13	72	23	71,5	33	72	43	72
4	71,5	14	73	24	71,5	34	71	44	76
5	71,5	15	73	25	71,5	35	73	45	74
6	73	16	71,5	26	71,5	36	76	46	71,5
7	72	17	71	27	76	37	74	47	71
8	73	18	72	28	72	38	73	48	72
9	71,5	19	72	29	71,5	39	71,5	49	73
10	71	20	71,5	30	73	40	72	50	73

Розрахунок довірчих інтервалів отриманих значень кількості палива, що подається:

1 - числові характеристики вибірки:

Максимальне значення $X_{max} = 76$,

Мінімальне значення $X_{min} = 71$.

Середнє арифметичне: $S_m = (76 + 71) / 2 =$

2 - обчислюємо стандартне середнє квадратичне відхилення:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} (x_i - 72,5)^2}{50-1}} = 1,112$$

3 - обчислюємо стандартну помилку вибірових середніх:

$$S_M = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \frac{1,112}{\sqrt{50}} = 0,1571$$

4 - відповідно задаємо $\alpha = 0,98$ для $n = 50$ знаходимо

$$t_{\alpha n} = 2.4$$

5 - визначаємо довірчий інтервал генеральної сукупності:

$$(X_{cp} - t_{\alpha n} S_M \leq M_x \leq (X_{cp} + t_{\alpha n} S_M))$$

або:

$$(72,46 - 2.4 \cdot 0.1571) \leq M_x \leq (72,46 + 2.4 \cdot 0.1571)$$

та залишково:

$$(72,46 - 0,37704) \leq M_x \leq (72,46 + 0,37704)$$

$$(72,08) \leq M_x \leq (72,83)$$

Таким чином, величина довірчого інтервалу з довірчою ймовірністю $\alpha =$

$0,98$ містить справжнє значення середньої генеральної сукупності.

Довжина довірчого інтервалу генеральної сукупності розрахованих значень параметрів циклової подачі становитиме:

На підставі отриманого довірчого інтервалу точності розробленого методу ($\Delta_2 = 0,75$) і порівнявши його з довірчим інтервалом відомого методу ($\Delta_1 =$

0,65568) можна зробити висновок, що запропонований метод не значно

поступається лабораторному методу, але помилка його незначна) умови, що нерівномірність циклової подачі на режимі холостого ходу для 4-х секційного двигуна не повинна перевищувати при регулюванні 30%, а під час перевірки 35% - порівняння значень довірчих інтервалів, отриманих

вимірювальним та розрахунковим способами, подано на рис. 4.9.

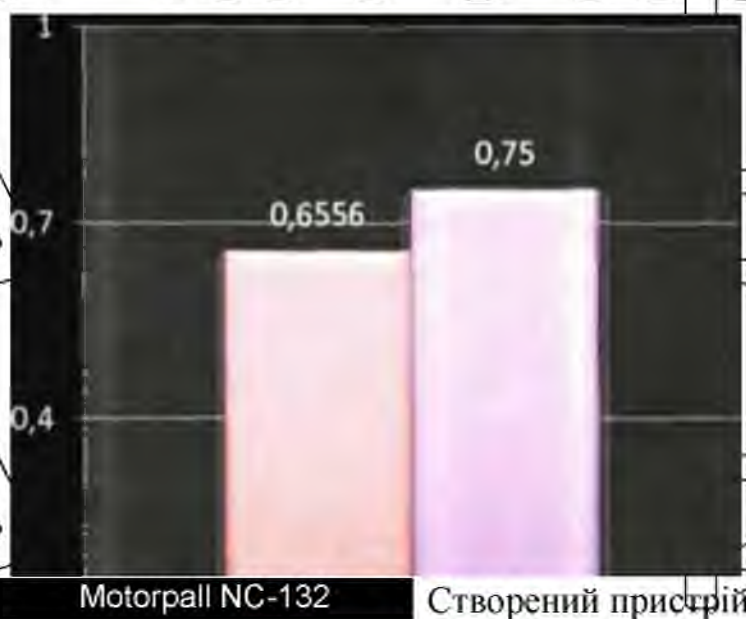


Рисунок 4.9 - Довірчі інтервали при різних способах визначення циклової подачі

Також варто врахувати, що при застосуванні існуючого методу з використанням мензурок кількість вприскуваного палива вважається від загальної кількості шляхом поділу кількості палива на кількість тактів, що

надлежащим чином не дає такої об'єктивної характеристики, як запропонований метод.

НУБІП України

4.3 Висновки

Оброблені результати експериментальних досліджень дозволяють зробити такі висновки:

1. Підтверджено достатню точність визначення виділених параметрів роботи дизельної паливної апаратури новітнім розробленим методом, шляхом порівняння довірчих інтервалів набутих значень параметрів різними методами діагностування

2. Збіг значень результатів циклової подачі палива, виміряних в лабораторії та розрахованих за математичною моделлю на місці роботи техніки, підтвердило працездатність запропонованої моделі.

3. Підтверджено самостійність та працездатність розробленого методу діагностування дизельної паливної апаратури дизельних двигунів в умовах їх експлуатації.

4. На підставі нового розробленого методу діагностування стало можливим управління технічним станом дизельної паливної апаратури на місці роботи технік

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1 Рекомендації з управління технічним станом паливної апаратури дизельних двигунів

На підставі створеного стенду, що дозволяє проводити діагностування паливної апаратури дизельних двигунів в умовах їх експлуатації, розроблено алгоритм управління технічним станом машин без відриву від робочих процесів (рис. 5.1).

Принципова основа розробленого алгоритму полягає у можливості - діагностування паливної апаратури в умовах експлуатації. На підставі отриманих даних про реальний стан паливної апаратури дизеля, в умовах експлуатації, приймається рішення щодо заходів технічного впливу на агрегати паливної апаратури та можливості виробництва технічного обслуговування та ремонту на місці роботи техніки. У разі можливості повернення працездатності техніки шляхом регулювання або ремонту на місці роботи здійснюються технічне обслуговування та ремонт в умовах експлуатації техніки, після яких техніка повертається до роботи. У разі неможливості повернення працездатності техніки до роботи в умовах експлуатації, вона транспортується у штатному режимі до ремонтної майстерні.

Внаслідок застосування розробленого алгоритму на підставі створеного методу, паливної апаратури суттєвої частини машин вдається повернути працездатність в умовах експлуатації, а також повністю виробити ресурс.

5.2 Результати використання розробленого методу

Практично метод був застосований у ДАУ ВО «Владлісгосп»; ТОВ "Гусівське лісопромислове підприємство"; ВАТ «Гусівський ліспромгосп» Володимирської області, на 19 тракторах та машинах марок МТЗ-82; ТДТ-55А-05 та ін., наданих для апробації.

В рамках управління технічним станом 19 тракторів, які постійно працювали, було проведено діагностування паливної апаратури запропонованим методом безпосередньо на місці їх експлуатації. Результати діагностування показали, що не всі параметри роботи паливної апаратури відповідають вимогам нормативно-технічної документації (рис. 5.2).

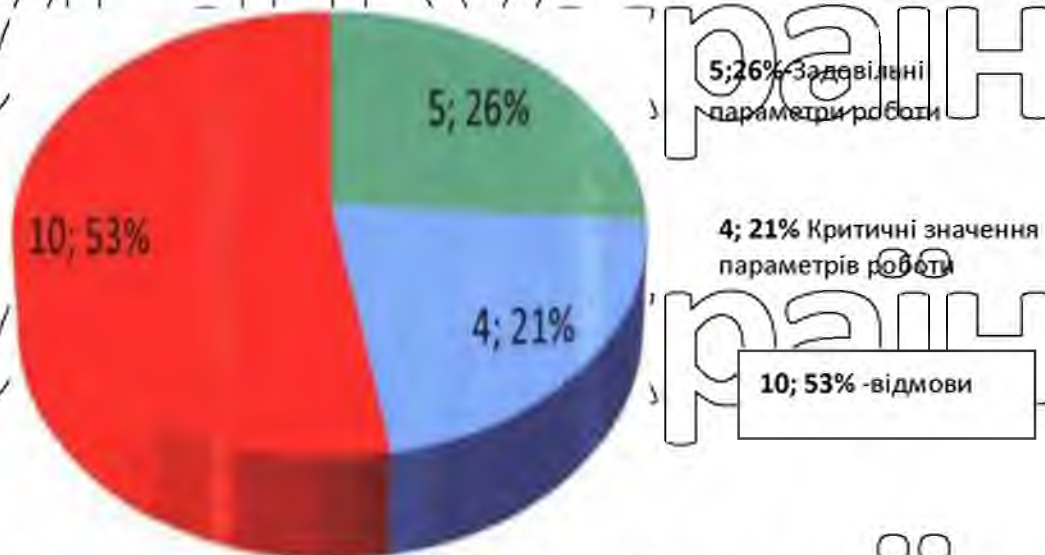


Рисунок 5.2 – Результати проведених діагностувань.

За результатами діагностування було зроблено висновок про те, що паливна апаратура лише 5 машин із усіх діагностованих знаходиться у задовільному стані і машини можуть продовжувати далі експлуатуватися без технічних впливів. Параметри паливної апаратури 4 з 19 машин перебувають в граничному стані та вийдуть за встановлені допустимі значення в найближчі години експлуатації, не допрацювавши до наступного планового технічного обслуговування. Параметри роботи паливної апаратури 10 машин не відповідають допустимим нормам та підпадають під діагноз «відмова». Таким чином, подальша робота 14 машин із 19 недоцільна.

На підставі отриманої, безпосередньо, в умовах експлуатації, достовірної інформації про робочі показники виділених параметрів паливної

апаратури, техніці були призначені необхідні технічні послуги на агрегати паливної апаратури, що не відповідають технічним вимогам. Ремонтпридатність та конструктивні рішення, даної модифікації техніки,

дозволяють проводити технічні операції з регулювання, дрібного ремонту та агрегатного ремонту без спеціальних умов, які раніше проводились лише в спеціалізованих майстернях, через неможливість вимірювання керованих параметрів.

Розподіл неполадок та граничного стану паливної апаратури за

виділеними нормованими параметрами представлені на рис. 5.3.

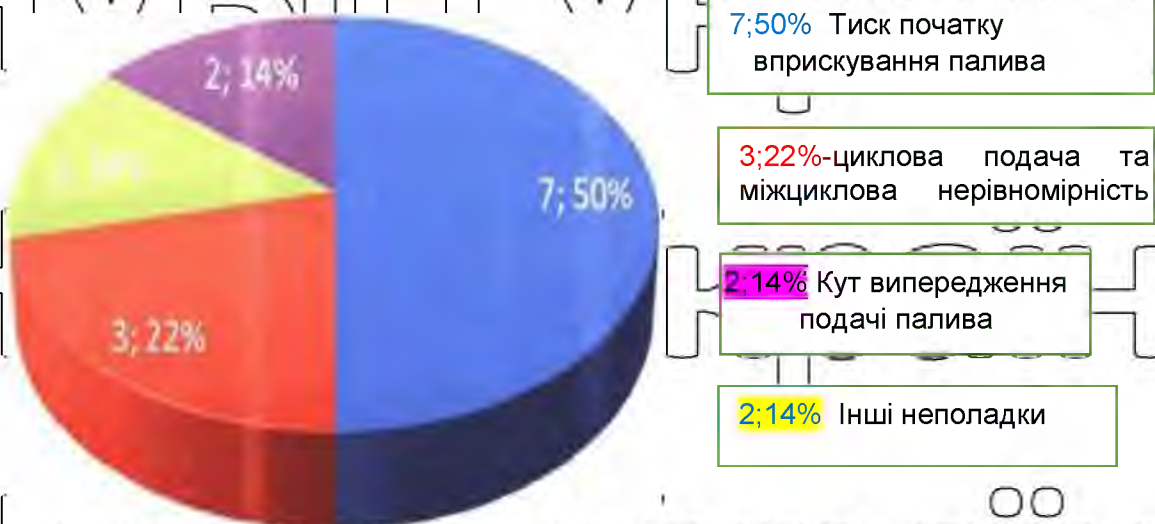


Рисунок 5.3 - Розподіл відмов за параметрами роботи паливної апаратури

В результаті проведених операцій технічного обслуговування та ремонту з використанням запропонованого діагностичного методу на 14 машинах, без відриву від виробництва параметри роботи паливної апаратури 12 машин із 14 були повернуті у допустимі значення, паливна апаратура 2 машин була відправлена на ремонт у спеціалізовану майстерню.

НУБІП України

5.3. Економічний ефект від застосування розробленого методу

Загальний економічний ефект від використання розробленого методу -

визначається економією коштів на експлуатаційних витратах при діагностуванні та зменшення витрат палива внаслідок оптимальної роботи паливної апаратури. Загальну економію можна підрахувати за такою формулою:

$$E = E_e + E_r; \quad (5.1)$$

де E - економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат на проведення діагностування паливної апаратури пропонуваним методом порівняно з використанням. Досягається за рахунок зниження трудомісткості та зменшення години простою техніки на годину діагностування, динамічними умовами випробування, зниження енергоємності, зниження експлуатаційних витрат.

Зменшення трудомісткості технічного діагностування виявляється у

відсутності повного демонтажу та монтажу паливної апаратури з трактора для проведення діагностування, одночасного діагностування всіх параметрів роботи паливної апаратури та відсутності транспортування техніки в ремонтні майстерні.

E_m - економічний ефект від зниження витрат палива в розрахунку на один трактор. Зумовлений підвищенням оперативності регулювання та динамічної складової проведення діагностування.

Економічну ефективність за рік від застосування методу можна

розрахувати за формулою:

$$E_e = 3I_1 - 3I_2; \quad (5.2)$$

де, Z_1, Z_2 - відповідно поточні експлуатаційні витрати при використанні базового та запропонованого методів, грн.

Витрати від простою техніки на годину діагностування обчислюються за такою формулою:

$$Z_{\text{пот}} = Z_{\text{п}} T; \quad (5.3)$$

де, $Z_{\text{п}}$ - вартість простою 1 год. техніки, грн.; T - час простою витрачений на діагностування, год.

Витрати на розбирання-складання при діагностуванні паливної апаратури пов'язані з демонтажем, монтажем або частковим розбиранням Z разів розраховуються аналогічно:

$$Z_{\text{раз}} = Z_{\text{п}} T Z_{\text{раб}}; \quad (5.4)$$

де $Z_{\text{п}}$ - вартість простою 1 год. техніки, грн.; $Z_{\text{раб}}$ - вартість роботи з демонтажу та монтажу ПА та обладнання, грн.; T - час витрачений на розбирання - складання (часткове), год.;

Витрати на транспортування машини (агрегату) до місця діагностування та (або) діагностичного стенду до діагностованої машини розраховуються:

$$Z_{\text{тран}} = S_{\text{п}} Z_{\text{д}}; \quad (5.5)$$

де, $S_{\text{п}}$ - відстань транспортування, км;

$Z_{\text{д}}$ - вартість транспортування на 1 км, грн.;

Збитки за годину простою техніки на годину діагностування паливної апаратури:

$$Z_{\text{раз}} = T C_{\text{п}}; \quad (5.6)$$

де T - година простою техніки під час діагностування ПА, грн.;

$C_{\text{п}}$ - вартість простою на годину діагностування (МТЗ-80/82 виробник визначає ціну простою 1 год. на 800 грн.), грн.;

НУБІП України

Таблиця 5.1

Результати розрахунків витрат для порівняння методів

найменування показника	Значення показника	
	Базовий метод	Розроблений метод
Годинна тарифна ставка діагноста (3 рік), грн.	800	800
Трудомісткість регулювання діагностування, необхідних параметрів (T_i), год.	1,76	1,32
Витрати на розбирання складання при діагностуванні (3 разів)	800	320
Витрати на транспортування при діагностуванні (3. раз)	400	180
Витрати від простою техніки на годину діагностування	4000	1000

Відповідно до формул 5.1-5.6 розраховуються поточні експлуатаційні

витрати:

$$Q = 4000 + 1408 + 800 + 400 = 6608 \text{ грн.}$$

$$Z_x = 1000 + 1056 + 320 + 180 = 2556 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат - становитиме:

$$E_e = (4000 + 1408 + 800 + 400) - (1000 + 1056 + 320 + 180) = 4052 \text{ грн.}$$

Підставимо обчислені значення елементів витрат на рівняння,

визначимо витрати при застосуванні нового розробленого методу діагностування:

$$E_m = C_m (P_m / 100) C_m T_n$$

C_T - вартість 1 літра дизельного палива, грн.;

P_T - відсоток зниження витрат палива, %;

(За отриманими даними у ДАУ ВО «Владлісгосп» $P_m = 3,5\%$)

$C_{г}$ – середньо-годинна витрата палива, кг/рік.;

$T_{н}$ – річне напруження трактора, мот.-год.;

Як базовий представник був обраний двигун Д-240 трактора МТЗ-82 з

річним напруженням 1500 мото-год./рік, укомплектований насосом

ПНВД4УТНМ-5, відрегульований з використанням розробленого методу

Коефіцієнт переведення мото-року за години

роботи трактора дорівнює 0.8.

$$12,8 * 1500 * 0,8 = 16128 \text{ грн}$$

Таким чином загальний економічний ефект від застосування

управління технічним станом дизельної паливної апаратури дизельних

двигунів за розробленим алгоритмом, в умовах експлуатації, складається з

двох складових - економії палива та зменшення витрат на технічне

обслуговування і становитиме з розрахунку на один трактор:

$$E = 4052 + 16128 = 20180 \text{ грн.}$$

5.4 Висновки

1. Розроблено та запропоновано алгоритм управління технічним станом дизельної паливної апаратури в умовах експлуатації на підставі використання створеного діагностичного стенду.

2. Результати роботи реалізовані на провідних лісопромислових підприємствах Володимирської області, що підтверджується актами спільних випробувань та справками про впровадження.

3. У результаті впровадження запропонованого методу діагностування та управління технічним станом дизельної паливної апаратури на підприємствах ДАУ БО «Владлігосп» отримано економічний ефект за

рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт та економію палива в розмірі 20180 рублів на 1 трактор в рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасного стану лісопромислового комплексу Росії показує зростання виробництва продукції на 14% за останні 3 роки, а також стійку тенденцію подальшого збільшення обсягів виробництва, що потребує підвищення ефективності експлуатації техніки повторного ання, в першу чергу, за рахунок підвищення її експлуатаційної надійності.

2. Встановлено, що 28 % відмов тракторів припадає на дизельні двигуни, з них 42 % відмов - на вузли та агрегати паливної апаратури. Тому суттєво підвищити експлуатаційну надійність техніки можна насамперед за рахунок управління технічним станом дизельної паливної апаратури на основі удосконалення діагностування основних параметрів.

3. Виділено три основні нормовані параметри роботи дизельної паливної апаратури, визначення реального значення яких дозволяє дати комплексну оцінку її технічного стану: тиск початку впорскування палива, кут випередження подачі палива та циклова подача палива. При цьому встановлено, що перші два параметри можуть бути виміряні в умовах експлуатації, а вимір параметра «циклова подача палива» до значних ускладнень не призводить, тому в умовах експлуатації не проводиться.

4. Запропоновано математичну модель взаємозв'язку трьох основних параметрів роботи дизельної паливної апаратури, що дозволяє розрахувати циклову подачу палива на підставі вимірних значень: тиску початку впорскування палива та кута випередження подачі.

5. Отримані рішення дозволяють реалізувати новий метод комплексного діагностування технічного стану дизельної паливної

апаратури в умовах експлуатації та визначати рівень необхідних та достатніх керуючих впливів безпосередньо на місці роботи техніки.

6. Розроблено конструкцію та виготовлено стенд для діагностування обраних параметрів роботи дизельної паливної апаратури безпосередньо в

умовах експлуатації техніки, на новизну представлених рішень гобується патент.

7. Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження з використанням створеного діагностичного стенду, дизельної паливної

апаратури в умовах експлуатації. Збіг значень результатів циклової подачі палива, виміряних у лабораторії та розрахованих за математичною моделлю на місці роботи техніки, підтвердило працездатність запропонованої моделі.

8. Підтверджено достатню точність визначення виділених параметрів роботи дизельної паливної апаратури шляхом порівняння довірчих інтервалів набутих значень параметрів різними методами діагностування.

9. Розроблено та запропоновано алгоритм управління технічним станом дизельної паливної апаратури в умовах експлуатації на підставі використання створеного діагностичного стенду.

10. Результати роботи реалізовані на провідних лісопромислових підприємствах Володимирської області, що підтверджується актами спільних випробувань та впроваджень.

11. Результатом управління технічним станом дизельної паливної апаратури 19 машин за розробленим алгоритмом на підставі результатів діагностування запропонованим методом стало зниження питомої витрати палива на 2.5%, скорочення простоїв машини під час обслуговування в

середньому на 3 години, зниження трудомісткості технічного обслуговування та ремонту дизель апаратури рахунок зменшення кількості

рантових відмов на 25%,

12. Внаслідок впровадження запропонованого методу діагностування та управління технічним станом дизельної паливної апаратури на перед-

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДАУ ВО «Владлігосп» одержано економічний ефект за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт та економії палива в розмірі 20180 гривень на 1 трактор марки МІЗ-82 в рік.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сідашенко О. Г. Ремонт машин / О. Г. Сідашенко, О. А. Науменко. – К. : Урожай, 1994. – 400 с.

2. Лауш П. В. Технічне обслуговування та ремонт машин / П. В. Лауш.

К. : Вища школа, 1989. – 351 с.

3. Сідашенко А. М. Практикум по ремонту машин / під ред. А. М. Сідашенка. – Харків, Прапор, 1993 – 328 с.

4. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник / [М. І.

Черновол, В. Ю. Четкун, В. В. Аулін та ін.] ; за ред. М. І. Черновола. – друге видання, перероблене і доповнене. – Кіровоград : КОД, 2010. – 320 с. : іл.

5. Четкун В. Ю. Методичні вказівки до виконання НДЗ «Надійність сільськогосподарської техніки» / В. Ю. Четкун, С. Г. Гранкін, А. О. Смелов.

Мелітополь, 2007. – 23 с.

6. Кузьмінський Р. Д. Ремонт машин: Розрахункові роботи / Р. Д. Кузьмінський ; за ред. акад. О. Д. Семковича. – Львів : ЛДАУ, 1997. – 65 с.

7. Зеркалов Д. В. Обладнання для технічного обслуговування та ремонту машин : довідник / Д. В. Зеркалов, М. Л. Береславський, Ю. А.

Обухов. – К. : Урожай, 1991. – 208 с.

8. Шамарін, Ю. А. Удосконалення випробувань форсунок при технічному обслуговуванні та ремонті дизелів [Текст]: дис. . канд. тех. наук:

05.21.01. / Шамарін Юрій Олексійович. – М., 2006. – 148 з

9. Поліпшення економічних та екологічних показників автотракторного дизеля шляхом адаптивно-взаємопов'язаного управління

режимами його роботи [Текст]: дис. док. тех. наук: 05.04.02/ Шаров

Геннадій Іванович - Ч., 1999. - 471 с.

10. Антропов, Б. С. Виявлення неполадок дизеля ЯМЗ [Текст] / Б. С. Антропов та ін. - М.: В/о Агропромздат, 1989. - 234 с.

9. Паливна апаратура автотракторних та комбайнових дизелів. Технічні вимоги до капітального ремонту [Текст]. – М.: ДЕРЖСНПТИ, 1989.-288 с.

10. Шамарін, Ю.А. Оцінка та аналіз технічного стану дизельної паливної апаратури [Текст]: Навчальний посібник / Ю.О. Шамарін, В.М. Корнєєв, А.С. Назаренко, В.Ю. Прохоров. – М.: МДТУ Л., 2005. – 75 с.

11. Петровський, Д.І. Діагностування паливної системи високого тиску дизелів за амплітудно-фазовими параметрами паливоподачі [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03 / Петровський Дмитро Іванович М., 2004.-162с.

12. Марков, В.А. Вприскування та розпилювання палива в дизелях [Текст]/В.А. Марков, С.М. Дев'янін С.М., В.І. Мальчук. М: Вид-во МДТУ ім. н. Баумана, 2007.-360 с., Іл.

13. Ананькін О.Д. Діагностика та технічне обслуговування машин: підручник для студентів вищ. Навч. Закладів [Текст]/О.Д. Ананькін, В.М. Міхлін, І.І. Габітов та ін.-: М.: Видавничий центр «Академія», 2008.-432 с., с.цв.іл.

14. Можливість покращення економічних та екологічних властивостей дизелів КамАЗ відключенням циліндрів та циклів на режимах холостих ходів та малих навантажень [Текст] / Д.Х. Валєєв, В.А. Гергенредер, Н.М. Патрахальцев та ін// Двигунобудування.1991. №8-9. С. 62-69

15. Чорноіванів, В.І. Ресурсозбереження при технічній експлуатації сільськогосподарської техніки [Текст] / В.І. Чорноіванів, О.С. Північний, С.М. Халфін, Л.С. Орський, Ю.М. Сідганів. –М.: ДЕРЖСТАНДАРТ-ФДНУ «Росінформагротех». 4.1,2.-2002.-780 с.

16. Власов П.А. Особливості експлуатації дизельної паливної апаратури [Текст] / П.О. Власів. –М: Агропромиздат, 1987. –189 с.

17. Селіванов К.В. До читання діагностування дизелів лісових машин

[Текст] / К.В. Селіванов, А.В. Сіротов // Вісник МГУЛ-Лісовий вісник.- 2012, №4.- С.50-51.

17. Кудрін О.М. Діагностування технічного стану паливної апаратури дизельних двигунів методом осцилографування процесу паливоподачі

[Текст], автореферат дис. ... канд. тех. наук. – Челябінськ: 1974. – 21с.

18. Горбаневський, В.Є. Дизельна паливна апаратура [Текст] / В.Є Горбаневський, В.Г. Кислов, Р.М. Баширов, В.А. Марків. – М: Вид-во МДТУ ім. н. Баумана, 1996. - 140 с.

19. Прогнозування зміни технічного стану машин методами діагностування. Бистрий О. М., Макарчук О.В. / Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження Крамарова В.С. (1906-1987) 23-24 лют. 2023 р., м. Київ / МОН України, НУБіП України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 142-143

20. Вплив якості фільтрування оливи на надійність та ресурс роботи з'єднань типу «підшипник ковзання – вал». Бистрий О. М., Макарчук О.В. / Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження Крамарова В.С. (1906-1987) 23-24 лют. 2023 р., м. Київ / МОН України, НУБіП України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 142-143.

21. Підвищення ефективності використання автотранспорту методами діагностування. Бистрий О.М., Новицький А.В., Макарчук О.В. / Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (19-21 квітня 2023 року). НУБіП України. Київ. 2023. 252 с. 188-190

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України