

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії ПА енергетики

Кафедра машиновикористання ПА сервісу технологічних систем

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ЧОРНИЙ БОГДАН ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.65

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ
ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПАЛИВНИХ НАСОСІВ
ВИСОКОГО ТИСКУ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Б.В. Чорний

**Керівник роботи
Міненко С.В.
к.т.н., доцент**

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Чорний Богдан Васильович. Удосконалення діагностування плунжерних пар паливних насосів високого тиску. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі обґрунтовано спосіб діагностування плунжерних пар паливних насосів високого тиску авторакторного дизеля по переміщенню голки форсунки. Запропоновано модель зміни тиску подачі палива від переміщення голки форсунки.

Розроблено пристрій для діагностування технічного стану плунжерних пар паливного насоса високого тиску паливної апаратури автотракторного дизеля, що відрізняється блоком реєстрації, інфрачервоним оптичним датчиком переміщення голки, вбудованим у корпус форсунки. Встановлено граничний стан плунжерних пар паливного насоса високого тиску дизеля КАМАЗ-740.11.240 за максимальним переміщенням голки форсунки діагностичного пристрою, який відповідає збільшенню радіального зазору плунжерної пари пар паливного насоса високого тиску та максимальному значенню тиску подачі палива.

Удосконалено алгоритм діагностування паливної апаратури дизеля. Обґрунтовано періодичність його використання, що збільшить ресурс автотракторних двигунів на 11%.

На підставі виконаних досліджень сформульовано та обґрунтовано наукові положення, що враховують фактичний технічний стан паливної апаратури дизеля.

Ключові слова: дизельний двигун, паливна апаратура, насос високого тиску, плунжерна пара, діагностування.

ANNOTATION

Chorny Bogdan Vasilyevich. Improving the diagnosis of plunger pairs of high pressure fuel pumps.. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The master's thesis substantiates the method of diagnosing plunger pairs of high-pressure fuel pumps of an authorial diesel engine by moving the injector needle. A model of changing the fuel supply pressure from the movement of the injector needle is proposed.

A device for diagnosing the technical condition of plunger pairs of high-pressure fuel pump fuel equipment of autotractor diesel fuel has been developed. The limit state of the plunger pairs of the high pressure fuel pump of the KAMAZ-740.11.240 diesel for the maximum displacement of the injector needle of the diagnostic device, which corresponds to the increase of the radial gap of the plunger pair of the high pressure fuel pump pairs and the maximum value of fuel supply pressure.

The algorithm for diagnosing diesel fuel equipment has been improved. The frequency of its use is substantiated, which will increase the life of tractor engines by 11%.

On the basis of the performed researches the scientific positions taking into account the actual technical condition of the diesel fuel equipment are formulated and substantiated.

Key words: diesel engine, fuel equipment, high pressure pump, plunger pair, diagnostics.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ.....	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАСОБУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПНВТ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ.....	18
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПА ДИЗЕЛЯ СІМЕЙСТВА КАМАЗ-740.....	24
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	29

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Витрати на підтримку працездатності автотракторних і транспортних засобів перевищують вартість нових і досягають 20...25 % собівартості експлуатації, до 40% у тому числі посідає технічне обслуговування (ТО) і поточний ремонт (ПР). У зв'язку з цим завдання повного та своєчасного задоволення потреб агропромислового комплексу України в сільськогосподарській техніці шляхом підвищення ефективності експлуатації рухомого складу є однією з найважливіших задач на сьогоднішній день.

Вирішення цього завдання забезпечується не тільки випуском сільськогосподарської техніки з високою надійністю та технологічністю промисловим комплексом країни, але й службами сервісу, що ведуть роботу з удосконалення методів технічної експлуатації та зниження трудомісткості робіт з їх ТО та ПР.

Для вирішення поставленої задачі важливе значення має застосування економічних двигунів на автотракторних засобах – дизельних. При цьому, згідно з прогнозом вітчизняних та зарубіжних експертів, поршневий двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) залишиться найбільш затребуваним як енергетична установка, що експлуатується в транспортно-технологічних засобах.

Закономірна, тенденція до зростання кількості сільськогосподарської техніки з дизелем в експлуатації та реалізація їхнього потенціалу, закладеного заводом-виробником, призводять до розробки та застосування науково обґрунтованих методів щодо підтримки їх справного технічного стану.

Численні дослідження, виконані різними вченими в галузі технічної експлуатації автотракторних засобів, свідчать про те, що ефективність роботи дизеля значною мірою залежить від стану елементів лінії високого тиску (ЛВД) паливної апаратури (ПА), порушення у роботі якої призводять до погіршення потужних та економічних показників двигуна.

Вимоги, що пред'являються ПА автотракторного дизеля, відомі: це створення однакових умов роботи циліндрів дизеля по куту подачі палива, циклової подачі та характеристиці впорскування. Порушення рівномірності цих показників по циліндрах двигуна призводить до підвищеного зношування деталей і вузлів силового агрегату, що стає причиною зростання його експлуатаційних витрат

При аналізі наукової та спеціальної літератури встановлено, що показником, що відображає роботу ПА дизеля, є переміщення голки форсунки та тиск у ЛВС ПА. Дані параметри визначають величину, тривалість та характер упорскування палива в циліндри двигуна і істотно змінюються у процесі експлуатації двигуна.

Однак на даний момент об'єктивно оцінити ступінь та характер переміщення голки форсунки автотракторного дизеля не дозволяє відсутність діагностичних комплексів, що дозволяють оперативно оцінювати технічний стан елементів ПА у процесі експлуатації автотракторних засобів.

Вирішення проблеми забезпечується розробкою діагностичного пристрою ПА автотракторного дизеля, що враховує такі параметри як момент відкриття та закриття форсунки, а також швидкість, прискорення та величину підйому голки форсунки та алгоритму її діагностування.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – забезпечення працездатності ПНВТ дизельного двигуна удосконаленням діагностування плунжерних пар.

Відповідно до мети досліджень передбачено рішення наступних задач:

- розробити пристрій для діагностування технічного стану плунжерних пар ПНВТ автотракторного дизеля щодо переміщення голки форсунки.
- удосконалити алгоритм діагностування паливної апаратури дизеля з обґрунтуванням періодичності діагностування для збільшення його ресурсу.

Об'єкт дослідження: плунжерні пари ПНВТ дизеля з розділеною системою упорскування.

Предмет дослідження: закономірності впливу параметрів плунжерних ТНВД на переміщення голки форсунки.

Методи дослідження. Дослідження виконані на основі положень, законів та методів гідродинаміки та математичного аналізу з використанням ЕОМ, у тому числі з використанням програми MatLab 6.5 та пакета прикладного програмного забезпечення Simulink. Обґрунтування конструктивних параметрів та розрахунок експлуатаційних показників ПА автотракторних дизелів проводилися як за відомими, так і за розробленими оригінальними методиками. При виконанні експериментальних досліджень використовувалися відомі методики та розроблені на їх основі приватні. Експериментальні дослідження експлуатаційних показників ПА виконано з використанням теорії планування повнофакторного експерименту. Обробку результатів досліджень проведено методами математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Міненко С.В., Кот І.Р., **Чорний Б.В.** Технічна характеристика деталей ЦПП дизельних двигунів автомобілів ПА мобільної сільськогосподарської техніки ПА аналіз умов їх роботи. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників *«Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні ПА технічні науки»*, 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 180-183.

2. Міненко С.В., Кот І.Р., **Чорний Б.В.** Стан технічної діагностики газорозподільного механізму двигуна. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в АПК»*, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 84-87.

3. Міненко С.В., **Чорний Б.В.** Форсунки, що використовуються в паливній апаратурі автотракторних дизелів. : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. *Техніка та технології в агропромисловому виробництві (присвячена 55-й річниці*

заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету) 7-8 жовтня 2021 р. Полтава : ПДАУ, 2021.С. 113-115.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє пристрій для діагностування технічного стану плунжерних пар ПНВТ автотракторного дизеля.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 таблиці і 7 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ

Своєчасне виявлення пошкоджень і несправностей вузлів ПА агрегатів сільськогосподарської техніки призводить до зниження інтенсивності їх відмов, а як наслідок, до скорочення витрат на їх експлуатацію.

В даний час в умовах підвищення паливної економічності і зниження кількості шкідливих викидів автотракторними засобами вводиться комплекс критеріїв оцінки енергетичних і якісних параметрів паливоподавальних систем ДВЗ [7], до яких відносяться: динамічний коефіцієнт подачі палива, коефіцієнт відносної потужності розпилювання палива до середньої ефективної потужності циліндра дизеля, що обслуговується, коефіцієнт стабільності розпилювання палива, критерій інтенсифікації вприскування.

Методи технічного діагностування дизелів [7], що отримали поширення, як правило, виконуються при знятті вузла або агрегату з дизеля для його часткового розбирання або регулювання. Найбільш сучасний спосіб, запропонований ГОСНИТИ [4] проводиться на стенді власного виготовлення, має малу споживану потужність 2 КВт, масу і вартість виготовлення, одночасно даний стенд не дозволяє встановлювати паливопроводи діагностованої ПА, що негативно впливає на точність оцінки технічного стану. Застосування даного стенду в польових умовах утруднюється тим, що необхідно забезпечити захист діагностованих вузлів від зовнішнього впливу пилу. Також зняття вузла або агрегату сприяє зниженню терміну служби на 15-20 %, навіть якщо деталь не ремонтується. У зв'язку з цим розширюється застосування сучасних безконтактних і нерозбірних методів діагностування, що ґрунтуються на аналізі вихідних параметрів дизеля, які функціонально пов'язані з його структурними параметрами. Таке діагностування є підсистемою інформації при керуванні

технічним станом автотракторної техніки і дозволяє виявити несправність систем і елементів дизеля до настання відмови, без його розбирання [6].

В даний час провідними вченими наукових установ ведуться дослідження, спрямовані як на створення нових методів технічної діагностики ПА дизелів, так і на вдосконалення відомих [3].

Сьогодні питання нерозбірних методів технічного діагностування ПА дизелів сільськогосподарської техніки досліджені недостатньо глибоко. Існують певні напрацювання з діагностування дизелів, що експлуатуються на тракторах і комбайнах [6]. Оскільки процес паливоподачі автомобільних, танкових і тракторних дизелів ідентичний, деякі методи та засоби їх технічного діагностування і застосовні до сільськогосподарської техніки.

Відомі методи діагностування паливної апаратури дизелів [2, 10, 11] можна розбити на групи за діагностичними параметрами ПА показниками:

- діагностування за характеристиками роботи ПА;
- діагностування за параметрами ПА;
- діагностування за показниками роботи двигуна.

Розглянемо можливість застосування зазначених методів технічного діагностування паливної апаратури автотракторного дизеля. Найбільш поширеним є метод діагностування за основними показниками роботи дизеля. При застосуванні даного методу діагностування проводять за непрямыми ознаками, що може призвести до помилкових ухвал несправностей більш ніж у 50% випадків, навіть у разі проведення діагностування досвідченим механіком. Ознаки порушення роботи ПА автотракторного дизеля за показниками роботи ДВЗ представлені у табл. 1.1 [11].

Таблиця 1.1 – Ознаки порушення нормальної роботи паливної системи дизельного двигуна та необхідні технічні впливи

Зовнішні ознаки (симптоми) порушення нормальної роботи	Структурні зміни елементів, що взаємодіють	Необхідні діагностичні, профілактичні та ремонтні впливи
1	2	3
Утруднений запуск двигуна. Нестійка робота двигуна	Порушення герметичності паливної системи	Перевірити герметичність, за необхідності закріпити елементи
Двигун глухне або не розвиває достатньої потужності	Забруднення фільтруючих елементів паливних фільтрів	Промити або замінити фільтруючі елементи
Двигун глухне, не розвиває достатньої частоти обертання колінчастого вала	Відмова у роботі паливного насоса	Зняти і розібрати насос, при необхідності замінити деталі
Двигун працює нерівномірно і не розвиває потужності	Забруднення фільтрів форсунок	Перевірити стан фільтрів
Двигун не розвиває необхідної потужності, димний випуск	Закоксування продувних вікон у гільзах циліндрів	Перевірити і прочистити вікна
Утруднений пуск і нерівномірна робота двигуна	Порушення нормальної роботи форсунок	Зняти форсунки і перевірити на приладі
Нерівномірна і «жорстка» робота двигуна, випуск чорного кольору	Порушення кута випередження вприскування палива	Перевірити і відрегулювати установку кута випередження вприскування
Нерівномірна робота двигуна зі стуками і димним випуском	Порушення регулювання рейок паливного насоса	Порушення регулювання рейок паливного насоса
Двигун надмірно збільшує частоту обертання, йде «врозніс»	Порушення роботи регулятора	Перевірити та відрегулювати регулятор або відремонтувати
Двигун не розвиває потужності, в очищувачі повітря темна олива	Забруднення повітроочисника	Промити фільтруючий елемент, залити оливу

За дослідженнями професора Жданівського Н.С. [6] зниження потужності ДВЗ на 15-20%, яке є наслідком погіршення технічного стану паливної апаратури, не завжди можливо виявити за непрямими ознаками.

За змінами обертів холостого ходу дизеля здійснюють контроль роботи регулятора, проте за ними не завжди можна оцінити швидкісний режим, що утримується роботою регулятора під навантаженням [9, 10], що призводить до рекомендації перевірки кількості обертів дизеля під навантаженням. Також не висока інформативність діагностування ПА дизеля за параметрами димності вихлопних газів і стуком. З відомих методів інструментального контролю техніко-економічних показників швидкохідного автотракторного дизеля найактуальнішими є:

- безгальмівний метод професора Н.С. Жданівського [9];
- метод визначення потужності дизеля з пробігу [9, 10];
- парціальний метод [8, 10].

Сутність безгальмівного і парціального методів полягає у відключенні кількох циліндрів працюючого двигуна, що сприяє сприйняттю працюючими циліндрами не тільки навантаження, що виробляється навантажувальними пристроями, а й додатково – від механічних втрат, що відбуваються у вимкнених циліндрах. Потужність працюючого циліндра, у разі, визначається за кількістю обертів двигуна, одночасно контролюючи витрату палива задіяними циліндрами. Розглянуті методи дозволяють оцінити загальний технічний стан дизеля, але контроль стану паливної апаратури утруднений безліччю факторів, що впливають на зниження потужнісних та економічних показників двигуна [5, 7]. Так, витрата палива у разі втрати компресії збільшується на 46%, а при зниженні робочої температури двигуна (температури охолоджуючої рідини) нижче 75°C або утворенні нагару в камері згоряння – на 7-12%.

Таким чином, показники роботи дизеля залежать як від роботи ПА, так і від інших його вузлів і агрегатів, що ускладнює використання даних показників як діагностичний критерій.

Газоаналітичний метод діагностування паливопоподаючої апаратури дизеля Д-240 [11], полягає на оцінюванні якості процесів сумішоутворення та згоряння ґрунтуючись на показниках вмісту сажі і CO_2 у відпрацьованих газах. Посилення норм, за вмістом шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизелів збільшило число параметрів, що діагностуються даним методом, що знижує інформативність його діагностичних параметрів.

Методика діагностування ПА дизеля за параметрами її роботи зводиться до оцінки якості регулювання і стану основних елементів ПА. Так по максимальному тиску впорскування, кількості палива, що подається, і коефіцієнту подачі контролюють стан плунжерної пари ПНВТ. Відомо, що процес паливоподачі дизеля визначається роботою плунжерної пари, зношування якої призводить до його порушення - збільшення нерівномірності паливоподачі, особливо це проявляється на режимах пуску двигуна [6, 7].

Відхилення подачі палива зношеною плунжерною парою на пусковому режимі можуть досягати 70-75% відносно нової [6], а при номінальному швидкісному режимі дизеля нерівномірність подачі палива з 3-5% збільшується до 10-15%. Також знос плунжерної пари сприяє запізненню початку подачі палива і значному скороченню тривалості його впорскування на малих обертах, що призводить до збільшення годинної витрати палива до 6% і зниження ефективної потужності дизеля до 12%. Прогресуючий знос плунжерної пари, що утворюється в процесі експлуатації, суттєво впливає на закономірність подачі палива.

Такий вплив зносу плунжерної пари на показники роботи дизеля і параметри його впорскування призвело до поширення різних методів контролю її технічного стану.

Найбільш відомим є метод контролю технічного стану плунжерної пари за максимальним тиском впорскування палива, який може вироблятися в атмосферу або в глуху замкнуту камеру. При діагностуванні першим способом використовують максиметр [7, 8]. Однак, цей метод непридатний для кількісної

оцінки гідравлічної щільності плунжерної пари в силу малого діапазону тисків (до 50 МПа), неминучих витоків палива через голку і малої точності приладу.

Для контролю технічного стану плунжерної пари на двигуні використовують вимірювання кількості палива, що подається через форсунку при заданій швидкості обертання кулачкового вала насосу. При використанні даного методу, при малих подачах, проявляється додаткова похибка внаслідок витоків палива вздовж спрямовувача голки розпилювача. Також цей метод не набув широкого поширення з огляду на малу точність і велику трудомісткість вимірювань.

Наступним методом контролю зносу плунжерної пари є оцінка коефіцієнта подачі - відношенню подачі палива плунжерною парою через форсунку до подачі палива без форсунки. Однак цей спосіб має ті ж недоліки, що і попередній, тобто є його різновидом.

Отже, на основі аналізу методів контролю технічного стану плунжерної пари ПНВТ дизеля в експлуатації можна зробити висновок, що реалізовані способи контролю мають малу точність і продуктивність. Одночасно їх використання з метою діагностування ПА нерентабельне, внаслідок високої трудомісткості і необхідності значної кількості складально-розбірних робіт.

На характеристики паливної апаратури також впливає нагнітальний клапан ПНВТ, яке визначається зносом його розвантажувального пояса. Такий знос погіршує якість відсічення палива і підвищує залишковий тиск у паливопроводі, що призводить до утворення додаткового вприскування палива з малим тиском - підприскування, що суттєво знижує потужнісні і економічні параметри дизеля.

При діагностуванні ПНВТ поширений контроль технічного стану клапана по запірному конусу з використанням моментоскопа (рис.1.1). При падінні стовпа палива за 2 хвилини нагнітальний клапан визнають зношеним [9, 14]. Недоліком такого методу є те, що не враховується стан розвантажувального пояса нагнітального клапана.

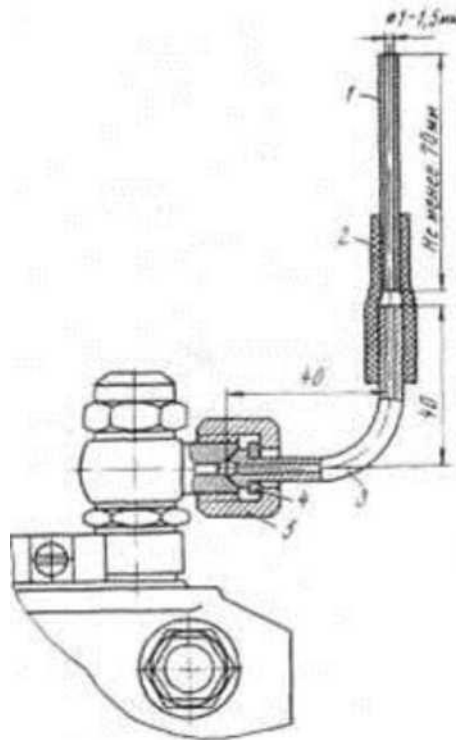


Рис. 1.1. Моментоскоп: 1 – скляна трубка; 2 – перехідна трубка; 3 – паливопровід високого тиску; 4 – шайба; 5 - накидна гайка

Також важливим параметром при контролі роботи ПА дизеля є випередження та тривалість подачі палива [4], який змінюється внаслідок зносу деталей механізму приводу валу і прецизійних деталей ПНВТ, що утворюється в процесі експлуатації. Зміна кута випередження впорскування палива негативно впливає на пуск дизеля, призводить до зниження потужності ПА підвищення димності відпрацьованих газів та шумності роботи [2, 4].

Істотна частина методів визначення кута випередження і тривалості впорскування застосовуються для діагностування тракторних дизелів. Для автотракторних дизелів [4], при експлуатації, рекомендується контролювати кут випередження впорскування палива моментоскопом. В цьому випадку його приєднують до штуцера 1-ї секції ПНВТ і перевіряють збіги регулювальної позначки шківів колінчастого валу з відміткою на кришці шестерень розподільного валу, зіставляючи це з моменту початку руху мениска палива в трубці приладу. Застосування цього методу виправдане при нових плунжерній парі і нагнітальному клапані, тому що їх знос може призвести до суттєвих

помилки діагностування. При зносі нагнітального клапана насосу (відпливу палива через запірний конус або розвантажуючий пояс) меніск палива в трубці приладу буде переміщатися з випередженням, а при зношуванні плунжерної пари (збільшення зазору плунжер-втулка, знос ущільнень) - із запізненням.

Доступні прилади [8], для визначення випередження і тривалості подачі палива, використання яких передбачає мінімальне втручання у роботу ПА дизеля. І тут характерна установка датчиків у лінію високого тиску (ЛВД).

При визначенні кута випередження подачі палива наведеними методами необхідно мати доступ до маховика або будь-якого шків дизеля, що має мітки, для контролю за допомогою стробоскопа, що в цілому знижує зручність їх використання. Для підвищення якості використання даних методів розглядається установка на дизель імпульсного датчика, що відповідає положенню поршня у верхній мертвій точці. В цьому випадку для визначення кута випередження впорскування палива сигнал з даного датчика зіставляють з контрольованим імпульсом.

Наступним важливим показником роботи ПА дизеля є продуктивність секції його ТНВД. Замір витрати палива при діагностуванні може проводитися за еталонною форсункою або зі зняттям окремих форсунок [1-7].

Однак, при роботі на окремих циліндрах складно добитися стійкої роботи двигуна на малих обертах та на номінальному швидкісному режимі. Також при такому методі можуть виявитися помилки, тому що паливоподача визначається продуктивністю плунжерної пари і технічним станом форсунки. Погіршення технічного стану форсунок призводить до підвищення витрати палива та димності відпрацьованих газів, зниження потужності двигуна, падіння стійкості роботи на малих обертах.

Наведене вище свідчить про невисоку ефективність існуючої системи технічного обслуговування ПА.

Висновки по розділу

У зв'язку з наведеними причинами потрібен новий підхід до визначення технічного стану ПА високого тиску дизелів. Таким методом може бути контроль технічного стану автотракторної ПА автодизеля по переміщенню голки форсунки.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ЗАСОБУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПНВТ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Загальний вигляд пристрою для діагностування плунжерних пар ПНВТ автотракторного дизеля представлений на рис. 2.1. Пристрій включає форсунку дизельного ДВЗ з інфрачервоним оптичним датчиком переміщення голки, яка пов'язана за допомогою дроту з осцилографом. Для установки датчика переміщення голки була використана штатна форсунка дизеля, що дозволило забезпечити легкознімне і герметичне підключення пристрою в систему паливоподачі.



Рис. 2.1. Пристрій діагностування ПА дизеля: Ліворуч – цифровий осцилограф, праворуч – форсунка дизельного двигуна з датчиком переміщення голки

Блок реєстрації включає осцилограф і ПК для прочитання сигналу від інфрачервоного оптичного датчика переміщення голки форсунки. На місце штатної форсунки встановлюють модернізовану. При діагностуванні прогрітій до робочих температур двигун КАМАЗ запускають у режимі холостого ходу

(600 хв⁻¹). Встановлено, що на прогрітому ДВЗ при встановленому режимі роботи дизеля, на мінімальних оборотах холостого ходу в залежності від зносу елементів ПА, переміщення голки форсунки становить 31-64 %, що становить 0,08 - 0,16 мм.

Розміщення пристрою на дизелі у лабораторних умовах представлено рис. 2.2.



Рис. 2.2. Розміщення пристрою на дизелі у лабораторних умовах

Для виявлення інформативної частоти обертання колінчастого валу при діагностуванні пристроєм проводили експериментальні дослідження у лабораторних умовах у робочому діапазоні частот обертання колінчастого валу. Дослідження у лабораторних умовах показали, що стабілізація параметрів переміщення голки форсунки забезпечується роботою дизеля на мінімальній частоті обертання колінчастого валу при температурі охолоджуючої рідини дизеля 90...95°C. Проводилося дослідження зміни переміщення голки форсунки дизеля (діагностичний параметр) залежно від зміни тиску палива у ЛВД ПА збільшення радіального зазору плунжер-втулка плунжерної пари ПНВТ (структурний параметр), результати наведені у таблиці 2.1. та на рис. 2.3.

Таблиця 2.1 – Зв'язок діагностичного параметра – переміщення голки форсунки h_i , (%), тиску подачі палива плунжерною парою ТНВД p_p , (МПа) ПА середнього діаметрального зазору плунжер-втулка плунжерної пари ТНВД (ΔS , мкм).

h_i %	63	51	39,5	17
ΔS , мкм	4	6	7	10
p_p , МПа	42,02	40,98	39,537	35,622

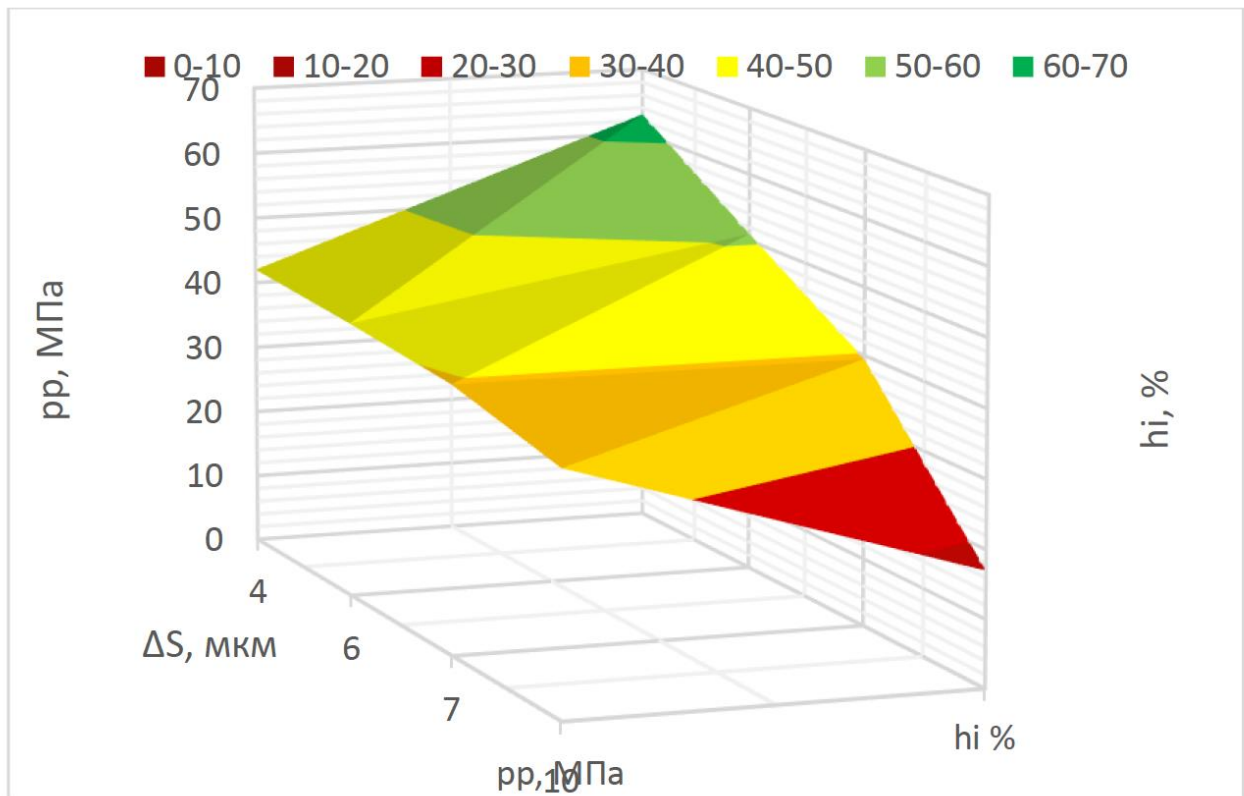


Рис. 2.3. Залежність максимальних значень переміщення голки форсунки (h_i) та тиску подачі палива (p_p) від величини радіального зазору плунжер-втулка ПНВД (ΔS)

Порушення працездатності ПА дизеля на мінімальних оборотах холостого ходу настає при переміщенні голки форсунки 32%, що відповідає максимальному тиску впорскування на даному режимі 38,1 МПа та максимальному радіальному зазору плунжер-втулка ПНВД 8 мкм. За основу прийнято граничний тиск подачі палива плунжерною парою ПНВД та збільшення середнього радіального зазору-плунжер-втулка. Спостереження в

експлуатації проводилося за 19 дизелями сімейства КамАЗ-740.

Для аналізу зв'язку діагностичного показника (переміщення голки форсунки) і структурного (радіальний зазор плунжерної пари ТНВД) проводилися експлуатаційні та лабораторні дослідження. На основі вимірювань отримано величини параметрів лінійної залежності діагностичного параметра зі структурним (рисунк 2.4), що характеризуються високим коефіцієнтом кореляції (0,9) аналітичних і експериментальних досліджень.

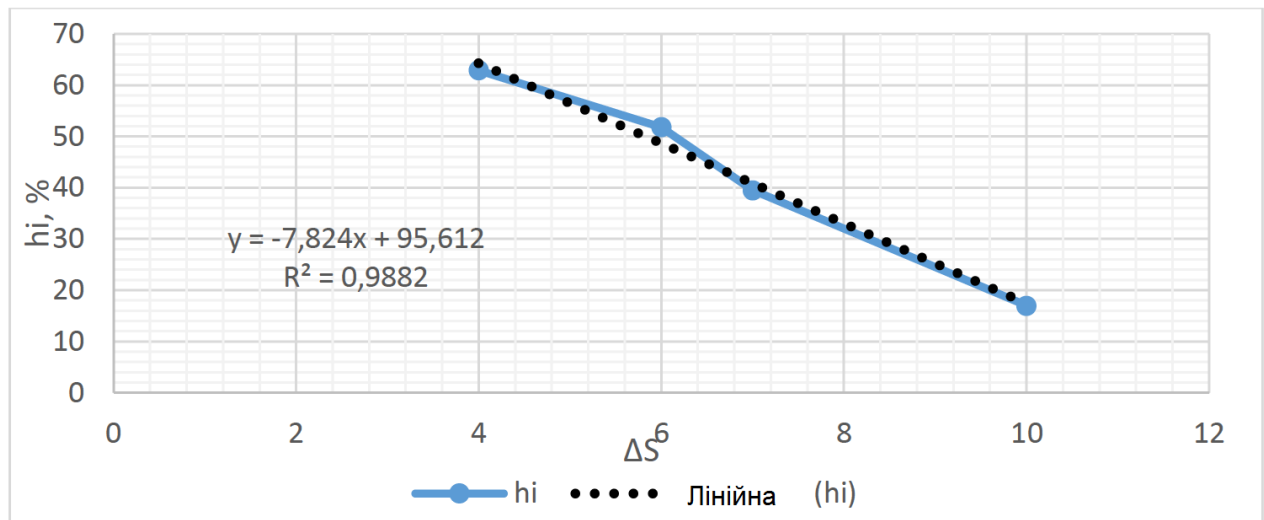


Рис. 2.4. Залежність діагностичного параметра h_i від структурного ΔS : h_i - експериментальні дані, лінійна $[h_i]$ - результати лінійної регресійної моделі

Випробувальний стенд для перевірки пристрою діагностування ПА дизеля укомплектований приладами і обладнанням, що дозволяє визначати переміщення голки форсунки і тиск подачі палива плунжерною парою ПНВТ, що відповідають певному режиму роботи ДВЗ. Прилади дозволяють визначити всі ці параметри з точністю до $\pm 3\%$. Для визначення переміщення голки форсунки використовувалася авторська розробка. Тиск подачі палива плунжерною парою визначалося аналізатором дизеля ПА К-261. Експеримент включав в себе випробування і прогрітого до робочої температури дизеля КАМАЗ-740.11-240 з працездатним і непрацездатним ПНВТ в лабораторії Поліського національного університету. Переміщення голки форсунки вимірюється непрямим методом, шляхом вимірювання напруги на опорі

фотодіода. Напруга змінюється пропорційно до переміщення голки. Для зручності проведення вимірів переміщення представлено у відсотках, 100% – відповідає максимальному ходу 0,25 мм переміщення голки «з посадкою на упор».

Також проводилася оцінка точності і ефективності діагностування за параметром переміщення голки форсунки (діагностичного параметра) [3]. Для цього перевірялася вимога до однозначності діагностування:

$$\frac{dhi}{d\Delta S} \neq 0 \quad (2.1)$$

де dhi , $d\Delta S$ - зміни діагностичного ПА структурного параметра відповідно.

Однозначність характеризується відсутністю екстремуму залежно від діагностичного та структурного параметрів, що в даному випадку виконується (рис. 2.4).

Залежність діагностичного параметра hi від структурного ΔS є лінійною, тому оцінка чутливості діагностичного параметра оцінюється коефіцієнтом k_{χ} , рівному коефіцієнту b її регресійної залежності $\frac{dhi}{d\Delta S} = 7,8$ (рис. 2.3).

Стабільність діагностичного параметра за величиною його розсіювання за незмінного значення структурного:

$$\delta = \frac{\sigma\delta}{\sqrt{n}}, \quad (2.2)$$

де $\sigma\delta$ – середньоквадратичне відхилення одиничного виміру діагностичного параметра, n – число вимірювань.

З урахуванням даних, отриманих при експериментальних дослідженнях отримаємо

$$\delta = \frac{0,35}{\sqrt{25}} = 0,07,$$

Критичне значення критерію Стюдента, при $n = 25$, становить $\delta = 0,07$, а значення діагностичного параметра $h_1 = 63,03$ ПА $h_2 = 17,04$ для працездатного стану ПА з порушенням працездатності плунжерної пари ПНВТ відповідно, тобто відмінність h_1 і h_2 значимо, діагностичний параметр інформативний.

Таким чином параметр переміщення голки форсунки виконує всі вимоги до діагностичних параметрів і може використовуватися при оцінці технічного стану ПА дизеля.

Висновки по розділу

Розроблено ефективний засіб діагностування технічного стану плунжерних пар ПНВТ автотракторного дизеля щодо переміщення голки форсунки.

Обґрунтовано зв'язок діагностичного параметра – переміщення голки форсунки зі структурним параметром – радіальним зазором плунжер-втулка плунжерної пари ПНВТ, що характеризується високим коефіцієнтом кореляції (0,9).

Отримана залежність переміщення голки форсунки від значущих факторів від значущих факторів – тиску подачі палива та зношування плунжерної пари ПНВТ дизеля, що доводить доцільність використання запропонованого діагностичного пристрою.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПА ДИЗЕЛЯ СІМЕЙСТВА КАМАЗ-740

Основною метою технологічного процесу діагностування ПА автотракторних дизелів є контроль та відновлення її працездатності шляхом виявлення відхилень у її основних елементах та проведення поточних ремонтів або регулювальних робіт [3].

На основі технологічного процесу складено алгоритм діагностування та автотракторного дизеля (рис. 3.1), де номери позицій відповідають номерам операції технології діагностування. Вертикальна гілка цього алгоритму є системою послідовного пошуку основного алгоритму. Можливі два результати: позитивний («Так»), за умови відповідності діагностичного параметра встановленим нормативам, і негативний («Ні»), за невідповідності. За позитивної умови, роблять черговий крок до подальшої операції, при негативному - виявляють несправності, що усуваються регулювальними чи ремонтними роботами.

Після виконання підготовчих операцій, прогрівання двигуна проводять вимірювання. Середню витрату палива визначають до проведення діагностування в експлуатації, стежачи за кількістю палива, що заправляється, і напруцюванням сільськогосподарської техніки (пробіг для автомобілів).

Операція 2 може виконуватись розробленим пристроєм. В цьому випадку пристрій встановлюється по черзі в 1 і 8 циліндри двигуна, що відповідає 8 і 1 секціям ПНВТ як найбільш і найменш навантажених відповідно. Визначається зміна тиску впорскування палива, зношування плунжерної пари, втрата герметичності клапана [7]. Також перевіряється циклова подача палива плунжерною парою через еталонну форсунку, при необхідності виконують регулювання.

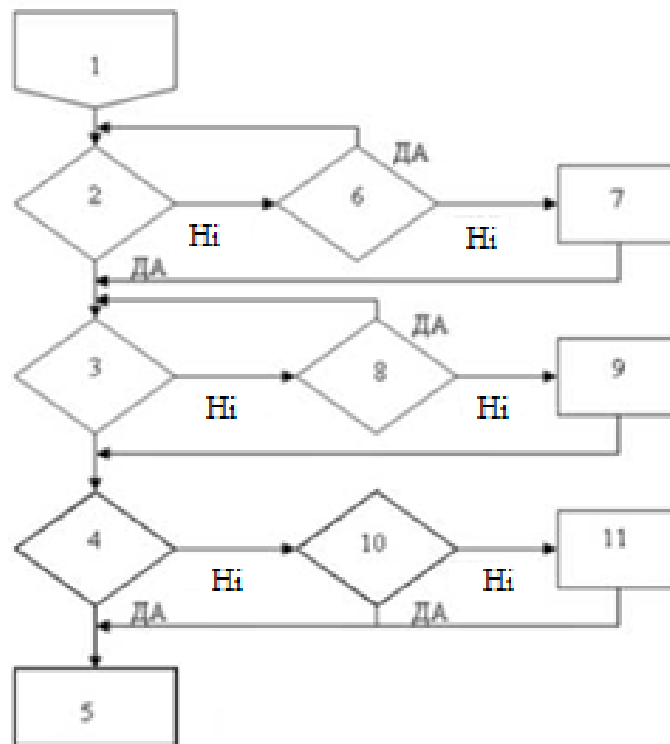


Рис. 3.1. Алгоритм діагностування ПА дизеля із застосуванням розробленого ПА відомих пристроїв діагностування: 1 – зовнішній огляд, прослуховування; 2 – переміщення голки форсунки; 3 – вимірювання кута випередження впорскування палива; 4 – вимірювання димності вихлопних газів; 5 – напрямок в експлуатацію; 6 – перевірка стану трубопроводу ПА фільтрів; 7 – поточний ремонт/заміна плунжерної пари ТНВД; 8 – регулювання кута випередження впорскування палива; 9 – регулювання/заміна муфти випередження впорскування; 10 – перевірка роботи форсунки; 11 – поточний ремонт форсунки.

Звіряють діагностичні параметри 1 і 8 циліндрів між собою та з еталоном. У першому випадку визначають різницю показників секцій ТНВД для визначення нерівномірності подачі палива, а різниця з еталоном визначає загальне відхилення від норми, при необхідності додатково перевіряють 5 циліндр. При відхиленні показника більш ніж на 15% потрібно проведення операції 7 – поточний ремонт та регулювання ТНВД із заміною плунжерних пар.

Якщо ж різниця показників із еталоном не перевищує 5% в результаті проведення профілактичних робіт або без них, виконують операцію 4 –

діагностику димності вихлопних газів. Нормальним вважається рівень димності трохи більше 50 одиниць [3, 4], якщо він вище, необхідно виконання операції 10 і 11.

Діагностування ПА автотракторного дизеля з переміщення голки форсунки з певною періодичністю дозволить отримати інформацію про технічний стан об'єкта та, за необхідності, прийняти рішення про підтримку працездатності проведенням технічних впливів. Пропонований технологічний процес передбачає попереднє діагностування за стандартними параметрами технічного стану ПА відповідно до розробленого алгоритму. На цьому процес діагностування закінчується, результати діагностування фіксуються у діагностичній карті. Розроблений алгоритм діагностування перевірено за умов експлуатації групі з 49 об'єктів. При цьому встановлено, що 16% дизелів мали порушений кут випередження впорскування палива, 15% - порушення роботи форсунок, 25% - порушення регулювань циклової подачі палива плунжерною парою і стільки ж знос плунжерних пар або порушення ущільнень.

Регресійна залежність та експериментальні дані сумарних питомих витрат на D_{TA} ПА ТР від періодичності діагностування у формі графіка наведено на рис. 3.2.

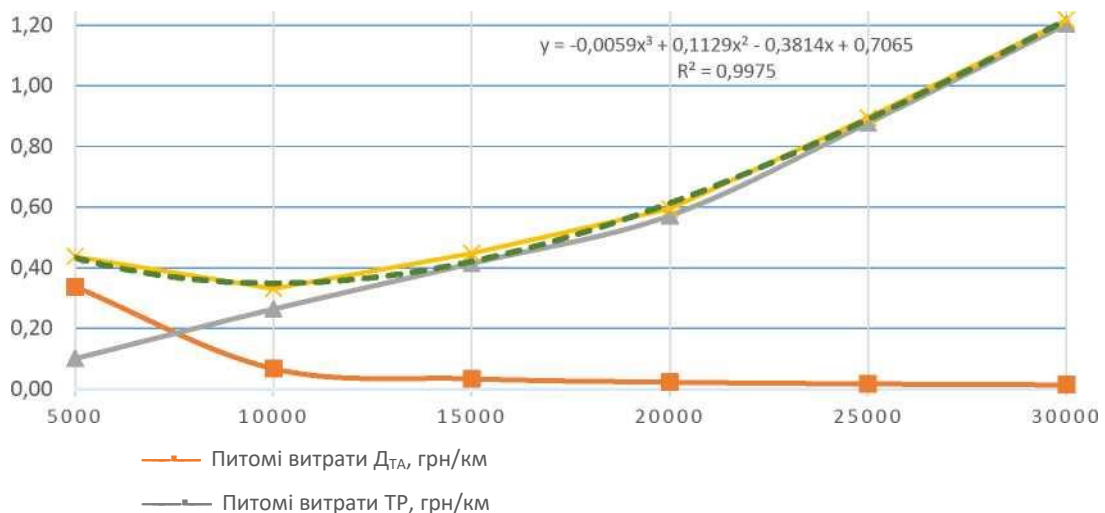


Рис. 3.2 Залежність питомих витрат за D_{TA} , ТР ПА сумарних питомих витрат від періодичності діагностування

Висновки по розділу

При аналізі отриманих даних видно, що мінімальні сумарні питомі витрати, залежно від категорії умов експлуатації, зберігаються при періодичності діагностування ПА 9000...12000 км, тому, для скорочення витрат доцільно включити роботи з діагностування ПА дизеля КАМАЗ-740 до складу робіт з ТО-2, періодичність якого для Житомирської області (3-я категорія умов експлуатації) становить 12000 км для с/г техніки, що використовує сімейство дизелів КАМАЗ-740.

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано діагностування плунжерних пар ПНВТ автотракторного дизеля по переміщенню голки форсунки. Запропоновано модель зміни тиску подачі палива від переміщення голки форсунки.

Розроблено пристрій для діагностування технічного стану плунжерних пар ПНВТ паливної апаратури автотракторного дизеля, що відрізняється блоком реєстрації, інфрачервоним оптичним датчиком переміщення голки, вбудованим у корпус форсунки. Встановлено граничний стан плунжерних пар ПНВТ дизеля КАМАЗ-740.11.240 за максимальним переміщенням голки форсунки діагностичного пристрою, який відповідає збільшенню радіального зазору плунжерної пари ПНВТ та максимальному значенню тиску подачі палива.

Удосконалено алгоритм діагностування ПА дизеля, що відрізняється вимірюванням переміщення голки форсунки (діагностична операція 2 алгоритму). Обґрунтовано періодичність його використання, що збільшить ресурс автотракторних двигунів на 11%.

На підставі виконаних досліджень сформульовано та обґрунтовано наукові положення, що враховують фактичний технічний стан ПА дизеля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сапьяник Г.Н. и др. Диагностирование и техническое обслуживание дизельной топливной аппаратуры. Горки: БГСХА, 2011. 324 с.
2. Гриценко А.В., Глемба К.В., Возмилов А.Г. Диагностирование и техническое обслуживание систем двигателя автомобиля. Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2020. 111 с.
3. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей. Том 3. Практические основы диагностирования. Харьков: Майдан, 2014. 443 с.
4. Белявцев А.В., Процеров А.С. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Конструктивные особенности и эксплуатация. М.: Росагропромиздат, 1988. 223 с.
5. Bosch R. Рядные многоплунжерные топливные насосы высокого давления дизелів. Robert Bosch GmbH, 2009. 144 с.
6. Ouyang G. Common Rail Fuel Injection Technology in Diesel Engines. Wiley, 2019. 367 p.
7. Горбаневский В.Е. Горбач Р.Н. Оборудование для испытания топливной аппаратуры дизелів. Монография : Машиностроение, 1968. 198 с.
8. Каракаев А.К. Топливная система с гидрозапиранием форсунок как основа для создания дизелей с управляемыми параметрами впрыскивания топлива. Павлодар: Кереку, 2016. 204 с.
9. Краснокутский В.В., Русанов М.А., Трояновская И.П. Системы питания дизельных двигателей. Часть 1. Назначение и конструкция. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. 72 с.
10. Славущкий В.М., Салыкин Е.А., Ларцев А.М. Интенсификация процесса подачи топлива в транспортных дизелях. Волгоград: ВолгГТУ, 2012. 260 с.
11. Буралев Ю.В. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей. Москва : Высш. школа, 1982. 272 с.

12. Кривенко П.М., Федосов И.М. Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторных двигателей. Москва : Колос, 1980. 288 с.
13. Lakshminarayanan P.A., Nayak N.S. Critical Component Wear in Heavy Duty Engine. Willey, 2011. 352 p.
14. Rahnejat H. Tribology and Dynamics of Engine and Powertrain: Fundamentals, Applications and Future Trends. Woodhead Publishing, 2010. XXX, 1018 p.