

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.12 – КМР. 204 “С” 2022.02.04. 017 ПЗ

**БОГОМЯГКОВ ЄВГЕНІЙ ГЕННАДІЙОВИЧ**

2022 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет (НИ) Конструювання та дизайну

УДК 621.436-044.337

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
Надійності техніки  
(назва кафедри)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Удосконалення технології очистки двигуна Д-245 від нагарних відкладень без його розбирання»

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»  
(код і назва)  
Освітня програма Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва

(назва)

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

д.т.н., професор

Ромасевич Ю.О.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:  
к.т.н., доцент Банний О.О.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав: Богомяков Є.Г.  
(підпис) (ПІБ студента)  
КНІВ - 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (НИ) \_\_\_\_\_

Конструювання та дизайну \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

к. т. н., доцент \_\_\_\_\_

Новицький А. В. \_\_\_\_\_

(підпис)

(ПІБ)

2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Богомятков Євгеній Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність \_\_\_\_\_

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма \_\_\_\_\_

«Машини та обладнання сільськогосподарського

виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи \_\_\_\_\_

«Удосконалення технології очистки двигуна Д-

245 від нагарних відкладень без його розбирання»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 04 лютого 2022р. № 204 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_

2022.10.01

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Головка блока циліндрів та шатунно-

поршнева група двигуна внутрішнього згорання Д-245.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- обґрунтувати теоретичні основи процесу очищення деталей двигуна від нагаровідкладень;
- розробити аналітичну модель процесу видалення нагаровідкладень у двигуні шляхом подачі водяної пари в циліндри;
- розробити технологію видалення нагаровідкладень з деталей дизелів під час технічного обслуговування техніки;
- оцінити економічну ефективність застосування запропонованої технології очищення деталей двигуна від нагаровідкладень.

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

“15” жовтня 2021 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

к. т. н., доцент \_\_\_\_\_

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Банний О. О. \_\_\_\_\_

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

Богомятков Є. Г. \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1. Механізм утворення нагаровідкладень на деталях двигуна при експлуатації	10
1.2. Впливання нагаровідкладень у двигуні на його економічні, потужні та ресурсні показники	15
1.3. Аналіз способів очищення деталей двигуна від нагаровідкладень	21
1.4. Висновки і завдання дослідження	29
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ УМОВ РУЙНУВАННЯ НАГАРОВІДКЛАДЕНЬ НА ДЕТАЛЯХ ДВИГУНА	32
2.1. Теоретичні передумови безрозбірного видалення нагаровідкладень при роботі двигуна на водопаливній емульсії	32
2.2. Аналітична оцінка процесу тепло масообміну крапель емульгованого палива	34
2.3. Аналіз результатів теоретичного розрахунку процесу тепло масообміну крапель водопаливної емульсії	36
2.4. Висновки за результатами теоретичних досліджень	38
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1. Об'єкт дослідження і опис експериментальної установки	40
3.2. Оцінка характеру освіти нагаровідкладень на деталях двигуна	42
3.4. Визначення оптимальної кількості води, що подається у впускний повітряний патрубок	44
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	46
4.1. Результати досліджень роботи дизеля на емульгованих паливах	46

4.2. Результати дослідження механізму утворення нагаровідкладень на деталях двигуна.....	49
4.3. Результати дослідження подачі оптимальної кількості води у впускний повітряний патрубок.....	58
4.4. Висновки за результатами експериментальних досліджень.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	71

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВСТУП

Ефективність роботи автотракторних дизелів оцінюється комплексом експлуатаційно-технічних характеристик: рівнем форсування та показниками потужності, паливною економічністю та токсичністю відпрацьованих газів, динамічними та пусковими якостями.

У процесі експлуатації сільськогосподарської техніки енергетичні, економічні та ресурсні показники роботи дизелів виходять за межі регламентованих значень. Погіршення цих показників зумовлене безліччю причин, у тому числі й утворенням на поверхнях деталей двигуна низькотемпературних відкладень у вигляді смолистих речовин та високотемпературних у вигляді нагарів. Цим видам забруднень піддаються камери згоряння, клапани, поршні, форсунки, проточні частини турбокомпресорів, випускні колектори та інші деталі [3, 79].

Класифікація вуглецевих відкладень на поверхнях деталей двигуна передбачає існування трьох основних груп: осадки, лаки та нагари.

Осади (відкладення) є сумішшю різних вуглецевих сполук і мінеральних частинок, які випадають з працюючої дизельної оливи і утворюють відкладення в картері двигуна, оливо-відстійниках і фільтрах у вигляді густої липкої маси чорного кольору. До їх складу входить до 60% оливи, а решта - сажа, вода, смоли, частинки пилу та металеві продукти зносу.

Лаківі відкладення утворюються на поверхнях деталей двигуна в процесі термічного розкладання паливо-мастильних матеріалів у вигляді плівки, що складається з різних вуглецевих сполук.

Нагари на поршнях, клапанах, форсунках, у випускних колекторах, в проточних частинах турбокомпресора являють собою масу, що спеклася, з мастила, смол, сажі, пилу, продуктів неповного згоряння, що розклалося при високій температурі. Вони відносяться до групи твердих вуглецевих відкладень і мають високі теплоізоляційні властивості і низьку теплопровідність.

У складі лаків і нагарів частку органічних сполук (соли, смоли, окисикислоти, асфальтени, карбени, карбоїди) доводиться від 1/20 до 1/3 загальної кількості забруднень зовнішніх поверхонь. Решту складають неорганічні речовини, переважно оксиди кремнію (пісок, пил) та оксиди заліза (продукти корозії та зносу металу). Нагари та лаки мають міцне зчеплення з поверхнею металу [6].

Зайве накопичення нагару призводить до порушення оптимального теплового режиму двигунів внутрішнього згорання, зниження їх потужності та надійності, перевитрати палива [4].

За результатами досліджень встановлено, що у турбокомпресора ТКР-11 зменшення умовного прохідного перерізу внаслідок нагаровідкладень спричиняє зниження витрати повітря через двигун і, як наслідок, підвищення температури випускних газів перед турбіною. Але підвищення температури на турбіні з великим відкладенням нагару не компенсує зниження витрати газу.

Отже, помітно знижується потужність турбіни та тиск наддуву. Зниження витрати повітря веде до підвищення питомості витрат палива дизеля та зростання теплонапруженості його деталей та вузлів. Через 1000 мото-год.

роботи дизеля відбувається зниження частоти обертання ротора турбокомпресора на 7 - 13%, тиску наддуву на 100 - 200 КПа, збільшення витрат палива зростає на 3,8%, зниження ефективної потужності на 18,5% [15].

Тепловий стан деталей двигуна є одним із основних факторів, що визначають його працездатність. Як встановлено дослідженнями [2], величина термічної напруги в 2...3 рази більша за напруги, що викликаються механічним навантаженням.

Внаслідок того, що нагар є утеплювачем, утворення його на днищі поршня та вогневої поверхні головки циліндрів призводить до перерозподілу теплових потоків. При відкладанні нагару на поверхні поршня до 2 мм температура в днищі поршня зростає з 320 до 580°C, а відведення тепла від поршня до масла практично припиняється, незважаючи на подачу його в канали масляного охолодження. Сформульовано висновок, що нагар, що

відклався на днищі поршня, впливає на температурний стан поршня значніше, ніж умови експлуатації мобільного енергозасобу.

Нагар є одним з основних факторів появи несправностей у двигуні, а саме: порушення роботи клапанів, свічок запалювання, форсунок, збільшення зносу деталей та ін. Відкладення нагару на сидлах клапанів перешкоджає їх нормальному закриванню, що призводить до їхньої прогару. При відкладанні нагару на внутрішніх порожнинах розпилювачів форсунок погіршується герметичність і відбувається зависання голки розпилювача, що призводить до порушення робочих процесів розпилювання палива в камері згоряння двигуна.

Таким чином, проведений аналіз стану питання на тему дослідження позначив актуальність проблеми відновлення потужнісних та економічних показників двигуна шляхом видалення з поверхонь деталей нагаровідкладень.

**Об'єкт дослідження** - мікрохвильовий процес очищення деталей двигуна від нагаровідкладень водяною парою.

**Предмет дослідження** - кількісні та якісні характеристики нагаровідкладень на деталях циліндропоршневої групи автотракторних двигунів.

**Мета дослідження** - підвищення довговічності двигунів шляхом проведення профілактичного очищення деталей від нагаровідкладень.

**Методи дослідження.** В основу теоретичних досліджень положення закону гідромеханіки і термодинаміки про рух рідини та процеси її взаємодії з твердим тілом. Експериментальні дослідження проведено із застосуванням теорій планування експериментів, ймовірності та математичної статистики, використанням сучасного обладнання та приладів.

На захист виносяться:

- ❖ теоретичні основи способу очищення деталей двигуна від нагаровідкладень;
- ❖ технологія профілактичного способу очищення деталей двигуна від нагаровідкладень.



❖ ефективність технології очищення двигунів від нагаровідкладень.

**Наукова новизна** дослідження полягає у розробці аналітичної моделі впливу кінетичної енергії молекул водяної пари на забруднені поверхні об'єкта очищення з урахуванням підвищених значень тиску та температури кавітаційних бульбашок, що підтверджується:

отриманням аналітичних залежностей, що характеризують процес тепло масообміну крапель емульгованого палива;

обґрунтуванням періодичності і режимів профілактичного очищення деталей двигуна від нагаровідкладень.

*Обґрунтованість та достовірність* результатів дослідження підтверджується якісними показниками оцінки роботи дизеля за ефективною потужністю, витратою палива і токсичності відпрацьованих газів.

Публікації. Основні положення та результати магістерської роботи опубліковано у 2-х тезах доповідей.

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота включає вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список джерел інформації, що використовуються, зі 106 найменувань, у тому числі 7 іноземною мовою і додатки на 3 сторінках. Обсяг дисертації – 135 сторінок машинописного тексту, пояснюється 11 таблицями та 44 малюнками.

# НУБІП України

## 1.1. Механізм утворення нагаровідкладень на деталях двигуна при експлуатації

В умовах експлуатації потужнісні, економічні та екологічні показники дизелів значною мірою залежать від технічного стану деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ). Істотний вплив на показники роботи дизеля надає утворення нагару на вогневих поверхнях циліндра. Нагари та лакові відкладення утворюються на поршні, головці блоку, клапанах, в отворах розпилювачів форсунок. Найбільша кількість відкладень нагару утворюється на днищі і канавках поршня, на головці циліндра, гільзі та поршневих кільцях.

Основними причинами, що викликають утворення нагару, є неповнота згоряння палива та тривалість використання моторного мастила. В основі утворення нагару є сажа, що органічно зв'язує матеріал і низькомолекулярні «перед полум'яні» продукти [1,2]. Сажа є продуктом неповного згоряння палива. Кількість сажи, що утворюється на поверхнях деталей ЦПГ, залежить від процесів горіння паливно-повітряної суміші в камерах згоряння двигуна.

Органічно зв'язуючий компонент утворюється в результаті окислення моторної оливи та рідких продуктів неповного згоряння при високим температурах у присутності кисню та оксидів сірки [3,4]. «Перед полум'яні» продукти утворюються в кінці такту стиснення і є продуктами термоокислювальних перетворень вуглеводнів. В результаті подальшої полімеризації ці продукти утворюють лакові відкладення та нагари.

Процес утворення нагаровідкладень [1,5] полягає в тому, що при роботі дизеля в результаті неповного згоряння палива та термоокислювальних перетворень вуглеводнів оливи, в мастилi накопичується сажа та з'єднання, що містять карбонільні, карбоксильні та гідроксильні функціональні групи, ненасичені сполуки та нітроєфіри. Внаслідок згоряння сірки, що є в паливі, в циліндрах двигуна конденсується сірчана кислота. Висока температура деталей ЦПГ (300...320°C роботі дизеля на номінальному режимі) забезпечує

необхідну енергію активації, у результаті взаємодії якої між функціональними групами утворюються полімерні продукти. Присутність у оливі сірки, кисню та інших елементів сприяє переходу полімерних продуктів у лаки та смоли.

Подальше окислення і полімеризація зазначених вище продуктів призводить до переходу в тверді вуглеподібні відкладення. Такий процес утворення нагару уражає високотемпературного режиму роботи дизеля.

Схема процесу утворення нагаровідкладень у дизельних двигунах наведена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Схема утворення нагаровідкладень у дизельному двигуні.

Утворення нагару залежить від конструктивних особливостей дизеля та умов його експлуатації. К.Е. Клівленд, А.С. Енок, А.В. Ніколаєнко при дослідженні впливу поверхні (рельєфності) деталі на утворення нагару

встановили, що чим більша рельєфність, тим більше відкладення нагару. Високотемпературні відкладення залежно від режиму роботи дизеля, якості палива та оливи можуть мати різну консистенцію, твердість та здатність зчеплення з поверхнями деталей.

Експлуатаційні дослідження процесу утворення нагару, які проводились дослідником А.І. Прискуріним [6] на дизелі Д-144, показали, що в діапазоні напрацювання від 30 до 2600 мото-год. відкладення на поршні криваються в межах 15,5...20,5 г, а товщина нагару становить 0,75...1,00 мм. Встановлено динаміку утворення нагару [1,15], яку представлено на рисунку 1.3.

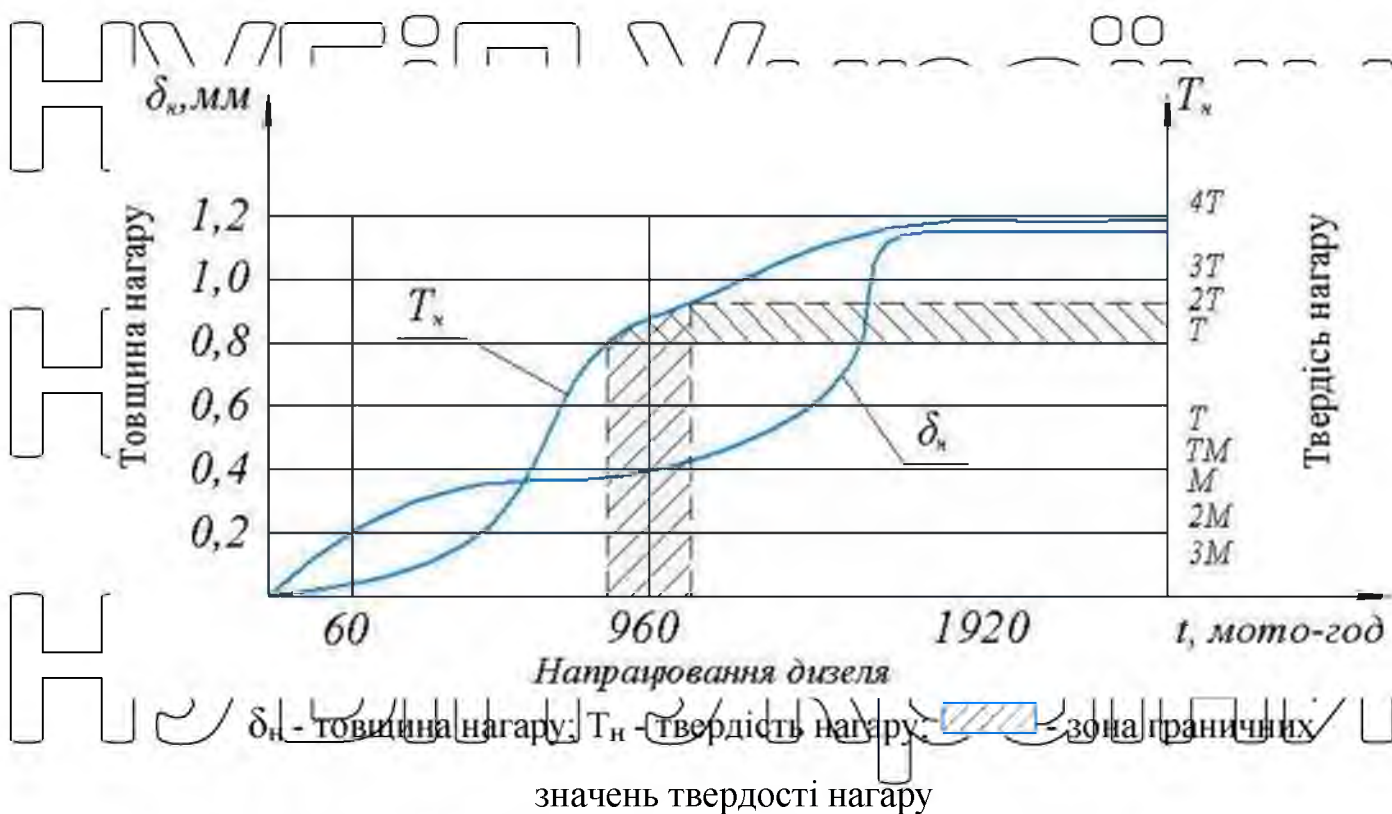


Рисунок 1.2 - Залежність твердості та товщини нагару на днищі поршня від напрацювання дизеля (Д-144)



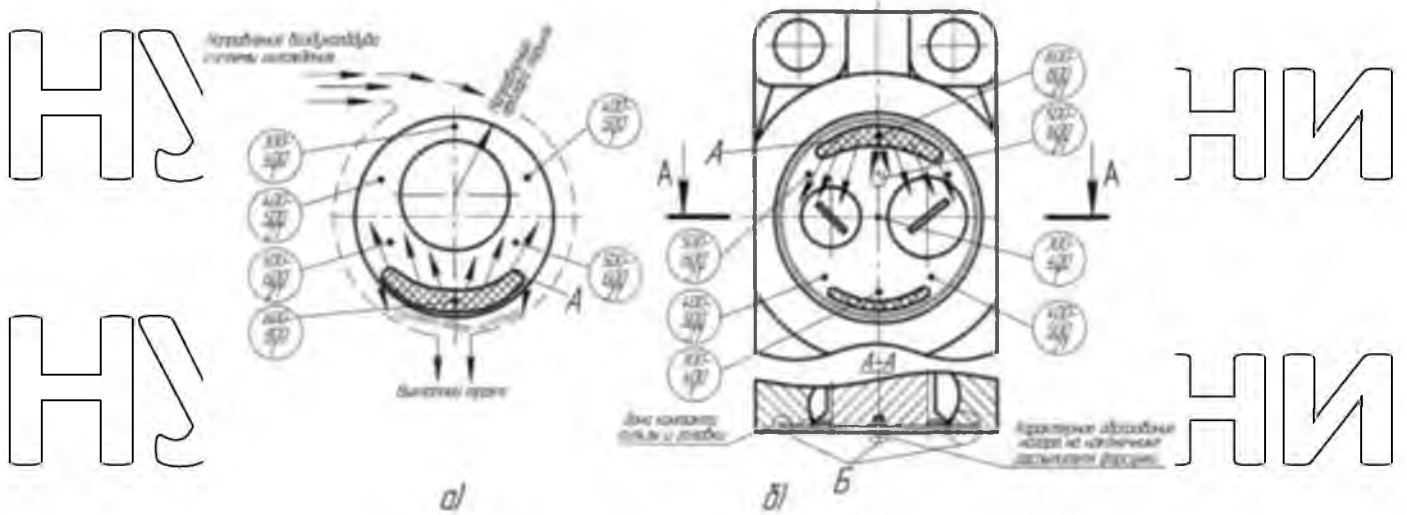


Рисунок 1.3 - Динаміка утворення нагаровідкладень на дні поршня (а) та на вогневій поверхні головки циліндрів(б) дизеля(Д-144).

Аналізуючи залежності, представлені на рисунках 1.2 і 1.3, можна виділити кілька характерних періодів напрацювання дизелів, що характеризують динаміку утворення нагаровідкладень на його деталі.

Припрацювання дизелів до 60 мото-год.(період обкатки) спостерігається локальне утворення нагаровідкладень на поршнів зоні («А»). При цьому товщина нагару складає 20-60 мкм і він є крихким. На решті поверхні днища поршня і в камері згоряння спостерігається лише відкладення сажі. На полум'яній поверхні головки циліндрів також з'являється локальне утворення нагару в зоні («А») з такими ж характеристиками, як і у нагаровідкладеннях на поршні. Утворення нагару на полум'яній поверхні головки циліндрів характеризується виникненням додаткових зон (Зона «Б») активної локалізації нагароутворення, форма яких залежить від рельєфності полум'яної поверхні головки блока циліндрів.

У процесі експлуатації автотракторної техніки в двигунах утворюються різні види забруднень.

Перша група внутрішніх забруднень двигуна - це відкладення в паливній системі.

По-перше, це продукти корозії металу, що утворюються при тривалому контакті палива з поверхнями бака та трубопроводів. Це нерозчинні оксиди металів, що осідають на стінках у нижній частині паливного бака.

По-друге, це тверді суспензії, привнесені в паливну систему разом із паливом.

По-третє, де важкі фракції палива з палива в невеликій кількості виділяються компоненти, що нагадують бітуми та лаки. Чим менш якісне паливо, тим більше ет компонентів.

По-четверте, у нижній частині палив бака накопичується вода. Вода в паливну систему потрапляє в основному у вигляді конденсату, при цьому спочатку вона потрапляє разом із паливом. У бензин вода може потрапити різними шляхами — через нещільності паливних баків при транспортуванні та зберіганні палива, при заправці в паливний бак і т.д.

Наступна група відкладень, що істотно впливають на роботу двигуна — це відкладення на деталях впускної системи і, особливо — на впускних клапанах. Ці відкладення мають органічну природу і утворюються в основному результатом двох процесів.

По-перше, на тарілках впускних клапанів і стінках впускних каналів бензинових двигунів з часом наростає «шуба» з відкладень фракцій палива.

По-друге, на тарілки клапана потрапляє моторне масло через напрямні клапанів, особливо у разі зношування масловідбивних ковпачків. Це забезпечує швидке обростання клапанів масляним нагаром.

Результати досліджень [6, 42, 43] показали, що в двигунах внутрішнього згоряння, незалежно від їх класу і типу, у процесі експлуатації утворюються різного роду вуглецеві відкладення.

Вуглецеві відкладення можна поділити на легко видалені з деталей і важко видаляються. До вуглецевих відкладень, що легко видаляються, належать сажа (кіпоть) і опади, а до важко видалених — лак, кокс і нагар.

*Сажа (кіптява)* це продукт неповного згоряння палива або оливи з частинками розміром приблизно до 50 мк, що складаються в основному з вуглицю. Вона входить до складу всіх видів вуглецевих відкладень, що утворюються у двигуні.

*Осад* - це мазеподібні речовини від сіро-коричневого до чорного кольору, що відкладаються під час роботи двигуна в картері, клапанній коробці, шийках колінчастого валу, маслосистемі та на фільтрах. Вони являють собою емульсію води (5—35 %) у маелі (50—85 %), забрудненій різними речовинами — сажею, паливом, окисислотами, асфальтенами, карбенами, карбоїдами та хворими елементами. Опали в основному утворюються під час роботи на низькотемпературному режимі.

*Лак (лакові відкладення)* - це вуглецеві речовини, що утворюються у вигляді тонкого шару товщиною від десятих часток мікрона до 100 — 200 мк, що міцно утримується на поверхні деталей двигуна: у зоні поршневих кілець, на спідниці та внутрішній поверхні поршня, шатунах, підшипниках та інших деталях [60,61].

*Кокс (кокові відкладення)* це тверді вуглецеві речовини переважно чорного кольору, що утворюються у вигляді наросту завтовшки більше 20 мк на деталях, що не контактують безпосередньо із зоною горіння. Кокс є продуктами коксування палив і олів і складається в основному з вуглецю і високомолекулярних вуглеводнів. Він може утворитися в зоні поршневих кілець, на спідницях поршнів середньо- і мало обертових дизельних двигунів, у середині форсунок у компресорах та інших місцях.

*Нагар* - це тверді вуглецеві речовини, переважно чорного кольору у вигляді наросту завтовшки понад 200 мк, що утворюються на деталях камер згоряння, тобто на деталях, що в тій чи іншій мірі контактують із зоною горіння, а саме: на стінках камер згоряння, на ковпачках форсунок, на свічках, клапанах, на днищах поршнів, на верхньому пояску бічній поверхні поршня, до першого компресійного кільця, та ін. Лакові відкладення легко відрізнити на вигляд від коксу та нагару [61].

**1.2. Вливання нагаровідкладень у двигуні на його економічні, потужні та ресурсні показники**

Все без винятку нагаровідкладення поєднує одне - вони негативно впливають на роботу двигуна. Утворення нагару, як правило, знижує надійність роботи двигуна, скорочує термін його служби, зменшує економічність та спричиняє збільшення експлуатаційних витрат.

При експлуатації двигуна олія, разом із присутніми в ньому продуктами забруднення, надходить у кільцеві канавки поршня. Ця суміш, перебуваючи в канавках поршня у вигляді тонкої плівки, при високих температурах в результаті подальших окислювальних процесів утворює вязкі асфальто-смолясті відкладення, які зменшують зазори в канавках, діючи подібно до щільних фільтрів, затримують забруднюючі присадки. При цьому асфальтові та асфальтогенові кислоти виявляють сполучну дію по відношенню до інших продуктів забруднень та сприяють їх прилипанню до поверхні кільця та канавок поршня. При роботі двигуна на зниженому тепловому режимі, коли розчинна здатність масла попо відношенню до органічних забруднень погіршується, кільця можуть защемлятися (приклеюватися) в канавках, а дренажні отвори маслосніжних кілець і поршня забиваються вуглецевими відкладеннями.

При подальшій роботі відкладення в канавках твердіють, що призводить до заклинювання в них кілець. Можливість заклинювання кілець збільшується з підвищенням температури канавок поршня та поршневих кілець. Відкладення нагару та лаку, володіючи малою теплопровідністю, перешкоджають відводу тепла від поршнів та сприяють підвищенню їх температури та інтенсифікації процесів, що ведуть до заклинювання кілець. Заклинювання кілець призводить до прориву газів і перегріву, видування або випаровування масляної плівки, інтенсивному надходженню в масло продуктів неповного згоряння палива. При появі нагару на клапані між ним і сідлом навіть у закритому положенні залишається зазор, а отже, стиснення суміші відбувається в негерметичний простір. В результаті не досягається необхідний ступінь стиснення, теплоповітряна суміш згорає не досить



ефективно і, як наслідок, потужність двигуна знімається, виникають перебої в його роботі, підвищується виграша палива [61].

При значній наявності нагару в зазорі між кільцем і канавкою поршня поршневе кільце може виступати над поверхнею поршня. У цьому випадку тиск кільця на циліндр різко зростає і призводить до задирання поверхні циліндра або заклинювання поршня в циліндрі.

Частина олії, що потрапляє в камеру згоряння двигуна і піддається впливу високих температур, утворює зольні відкладення. Це погіршує тепловідведення від деталей і призводить до ще більш інтенсивного їх нагрівання, наслідком чого буває оплавлення та розтріскування поршнів, прогар випускних клапанів. Найбільш небезпечні зольні відкладення для поршневих канавок. Зношування поршневих канавок знаходиться у певному взаємозв'язку з кількістю в них зольних відкладень (рисунк 1.5).

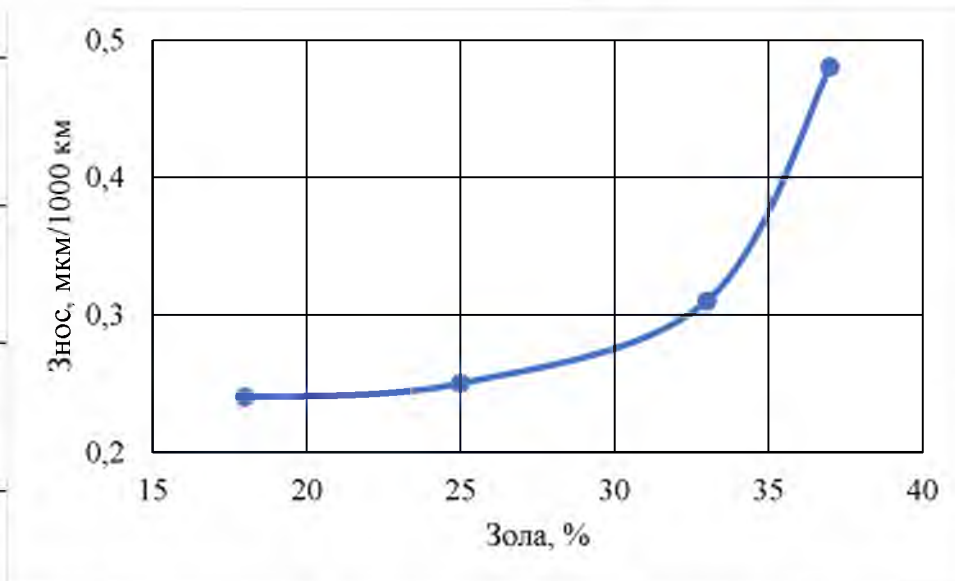


Рисунок 1.5 - Інтенсивність зношування поршневих канавок залежно від зольності відкладень, що накопичуються в них. Утворення нагару призводить до порушення процесу газообміну, закоксуванню соплових отворів розпилювачів форсунок, погіршення паливної подачі і, як наслідок, до зниження потужності та показників паливної економічності дизелів.

При відкладенні нагару на дно поршня, на вогневій поверхні головки циліндрів погіршуються потужнісні та економічні показники дизелів. Так, при відкладенні нагару на днище поршня та головки циліндрів завтовшки до 0,8 мм відбувається зниження ефективної потужності тракторного дизеля Д-144 на 5 - 6 % та збільшення питомої витрати палива на 3 - 4 % у порівнянні з їх номінальними значеннями. У зв'язку зі змінами зазорів у послідній «поршень-гільза» внаслідок перерозподілу теплових потоків у деталях ЦПГ, витрата олії нагар збільшується приблизно в 1,6 раза.

Встановлено, що при досягненні граничної товщини (0,8 мм) шару нагару ефективна міцність дизеля знімається на 7 %, а питома витрата палива підвищується на 6 % [2,6,17], що пояснюється погіршенням перебігу робочого процесу та підвищенням механічних втрат: максимальний тиск циклу зростає на 16%, а середня швидкість наростання тиску в циліндрі – на 22%.

На основі аналізу вмісту заліза в картерній олії встановлено, що коефіцієнт концентрації цього металу в олії у дизеля з нагаром на дно поршня і вогневої поверхні головки циліндра приблизно в 1,2 рази вище, ніж у дизеля без нагаровідкладення [68].

Внаслідок утворення нагару на деталях ЦПГ відбувається значна зміна максимального тиску циклу ( $P_z$ ) та середньої швидкості наростання тиску ( $dP/dt$ ). Дослідженнями [6], представленими на рисунку 1.6, встановлено, що при відкладенні нагару на дно поршня товщиною 0,75...1,00 мм середній тиск циклу збільшується на 24,9 %, а середня швидкість наростання тиску - на 20,1%.

Це тим, що з освіти нагару збільшується ступінь стиску. При збільшенні максимального тиску циклу збільшується динамічна напруженість, а збільшення середньої швидкості наростання тиску призводить до підвищення жорсткості роботи дизеля. Вплив нагару на параметри робочого процесу пояснюється так.

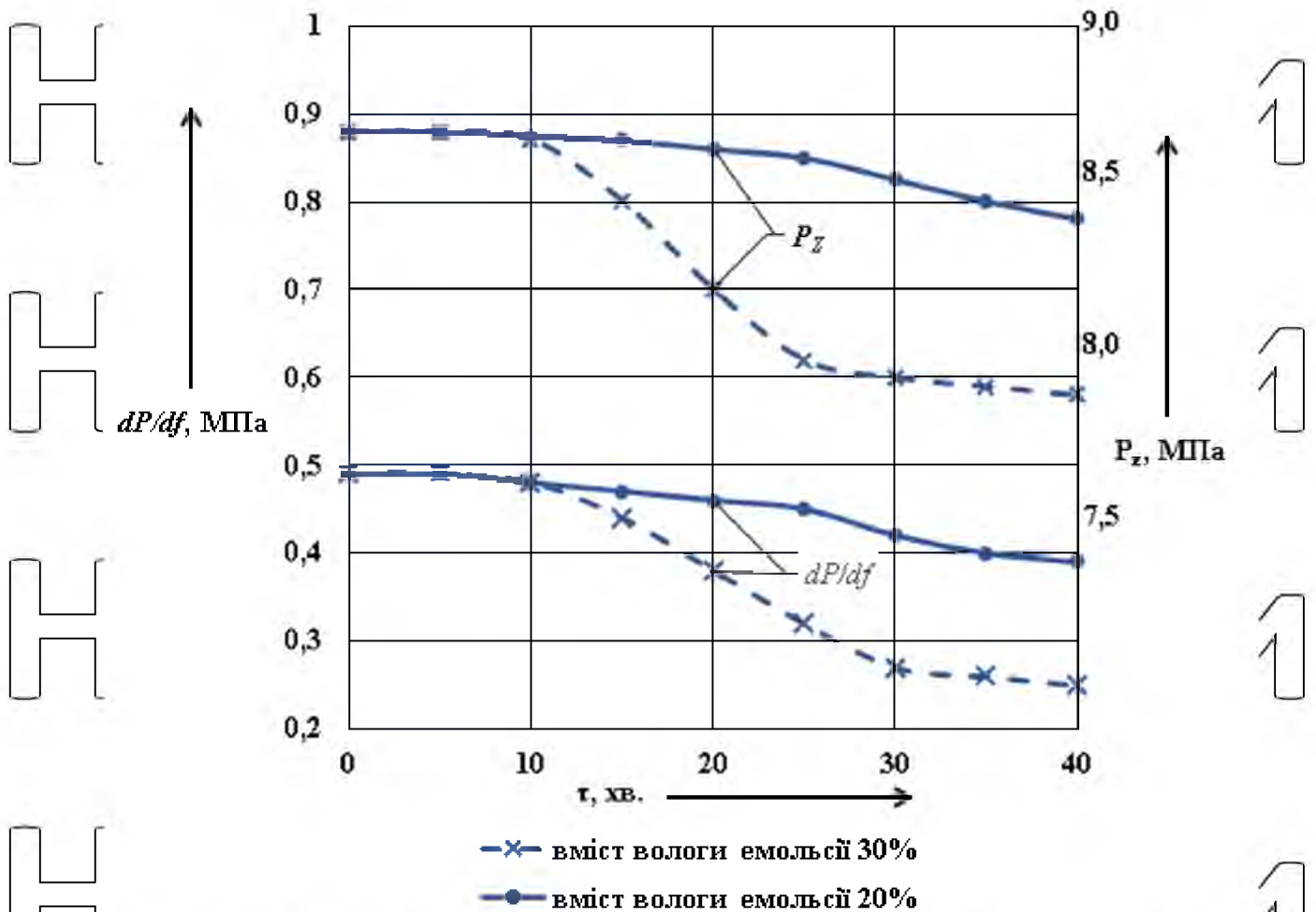


Рисунок 1.6 - Зміна показників робочого циклу дизеля Д-144 в процесі видалення нагару.

У під час роботи дизеля з відкладеннями нагару спостерігається підвищення тиску наприкінці такту стиску на 8... 10% [16]. Впорскування палива відбувається в середу з підвищеними значеннями тиску і температури, що призводить до збільшення жорсткості процесу згоряння паливно-повітряної суміші.

Нагар, що утворюється при роботі двигуна на верхній кромці поршня і його вогневому пояску, має підвищену твердість з вкрапленнями твердих частинок присадки, що спрацювалася, пилу з повітря, продуктів зносу деталей, що призводить до значно більшого зносу циліндрів [14]. Нагар здатний фарбуватися і, потрапляючи в поршневі канавки, перенісджас вільному переміщенню кілець, накопичується та ущільнюється на верхньому

неробочому пояску циліндрів, підвищуючи небезпеку заклинювання (прихоплювання) поршнів при зупинці [16]. Утворення нагару на бічній поверхні поршня вище першого компресійного кільця є причиною «натирів» на гільзі та поршні. Автори [1,17] вважають, що збільшення зносу є наслідком абразивної дії нагару на поверхнях, що труться, частинки якого потрапляють на змащовані поверхні і утримуються на них мастилом.

Тепловий стан деталей ЦПГ одна із основних чинників, визначальних працездатність дизеля. Як встановлено дослідженнями [18], величина термічних напруг у 2...3 рази більша за напруги, що викликаються механічним навантаженням.

Внаслідок того, що нагар є утеплювачем, утворення його на днищі поршня та вогневої поверхні головки циліндрів призводить до перерозподілу теплових потоків. В результаті підвищується температура газів, що відпрацювали, додатково частина теплоти сприяє збільшенню температури гільзи циліндрів, а частина теплоти відноситься з відпрацьованими газами. Так дослідженнями [6] встановлено, що з підвищенні товщини нагару до 0,8 мм лежить на поверхні поршня температура гільзи циліндрів збільшується на 14 °С, а температура відпрацьованих газів на 16 °С. Винесення частини

теплоти відпрацьованими газами супроводжується догоранням палива лінії розширення. Зниження температури поршня і підвищення температури циліндрів гільзи є наслідком збільшення теплового зазору між поршнем і гільзою. Це призводить до ударів при проходженні поршнем мертвих точок, що додатково підвищує механічні навантаження на деталі ЦПГ та знос поверхонь тертя [19]. Нерівномірність відкладення нагару призводить до локального нагрівання поверхні поршня. Низька теплопровідність нагару призводить до погіршення відведення теплоти та підвищення температурного режиму в камері згорання і, як наслідок, до перегріву вільних від нагару

поверхонь. Дослідженнями [6] встановлено, що максимальне допустима температура поршня у центрі днища має перевищувати 300...320 °С. Підвищення температури поршня знижує механічну міцність, що може

спричинити теплове руйнування.

Відкладення нагару на поверхні деталей ЦПГ впливає екологічні показники дизеля. Як встановлено дослідженнями, збільшення ступеня

стиснення ( $\xi$ ) в результаті відкладення нагару на деталях ЦПГ призводить до підвищення димності відпрацьованих газів (ВГ) на 9% і збільшення вмісту

$NO_x$  на 8% [21]. Збільшення вмісту  $NO_x$  пояснюється тим, що збільшення ( $\xi$ ) призводить до зростання температури впускного заряду після стиснення, що прискорює підготовку паливно-повітряної суміші та інтенсифікує процеси

сумішоутворення та згоряння. Ступінь стиснення впливає на швидкість

сумішоутворення за рахунок впливу на процеси виховання при впорскуванні палива при положенні поршня в ВМТ. При збільшенні ( $\xi$ ) паливо інтенсивно змішується та згоряє при збільшеній максимальній температурі. Збільшення

температурного режиму робочого процесу дизеля за інших рівних умов є головною причиною підвищеного вмісту  $NO_x$  [21].

Таким чином, кількість і склад нагаровідкладень на деталях двигуна призводить до серйозних порушень його роботи, а в ряді випадків є причиною аварійного виходу двигунів з ладу.

Виходячи з вищевикладеного слід, що накопичення нагаровідкладень є невід'ємною частиною процесу роботи двигуна. Наявність нагаровідкладень на деталях негативно впливає на енергетичні, паливно-економічні, екологічні та ресурсні параметри роботи двигуна, що зумовлює необхідність розробки найбільш ефективних методів та засобів їх видалення.

### **1.3. Аналіз способів очищення деталей двигуна від нагаровідкладень**

Інтенсивність утворення нагару на деталях циліндропоршневої групи (ЦПГ) значною мірою залежить від умов експлуатації, фізико-хімічних властивостей використовуваних палив та моторних олів (МО), організації процесу згоряння палива та інших факторів.

Відкладення нагару в експлуатації відбувається в результаті складних фізико-хімічних процесів, що відбуваються в паливі та МО при впливі високих температур у циліндрі. На швидкість та кількість відкладень нагару впливає



температурний режим роботи дизеля. Так, дослідженнями В.А. Татарніцева [13] встановлено, що при завантаженні дизеля СМД-62 близька до номінальної, інтенсивність утворення нагару збільшується більш ніж у 3 рази, порівняно з фактичним завантаженням. Значне зменшення відкладень нагару досягається за своєчасного проведення операцій технічного обслуговування.

Так, якість МО, їх термоокислювальна стабільність, миючі диспергуючі властивості, в'язкість і кількість, що подається в циліндр масла, впливають на процес утворення нагару в канавках поршневих кілець, що може призвести до їх заклинювання [4,9].

У розвинених країнах США, Європі, Японії проблема освіти нагаровідкладень у двигунах викликала появу різних технологій очищення відкладень, але найефективнішим способом є профілактика, тобто. виробництво дизельного палива, що містить спеціальні миючі присадки, що уповільнюють утворення нагару та відкладень. У стандартах нормується ряд показників якості, які впливають на утворення високотемпературних відкладень: вміст фактичних смол, коксування, зольність, йодне число, зміст соди, наявність механічних домішок та інші, проте, статистичні дані свідчать про те, що повністю вирішити зазначену проблему не вдається.

На сьогоднішній день на ринку автохімії є багато різноманітних препаратів для відновлення безрозбірним методом параметрів двигунів внутрішнього згоряння. Серед них найефективнішими є засоби профілактики, такі як: антикокси, антидими, «розкоксування» тощо. І це закономірно, адже негативні наслідки утворення нагару очевидні, вони досить описані як у науковій, так і популярній літературі. У більшості випадків, для отримання «розкоксувального» ефекту, ці засоби профілактики вимагають час від 12 до 24 годин з обов'язковою заміною олії та масляного фільтра. Умовно, цей метод можна назвати – метод статичного розкоксування поршневих кілець, тобто.

розчинення і вимивання нагару із системи поршневих кілець за допомогою хімічного складу з підвищеною проникною здатністю, що вводиться в камеру згоряння через свічкові отвори з поршнями, що знаходяться в стані спокою,

протягом 12-24 годин. Тому моторну оливу та масляний фільтр після застосування замінювати необхідно.

На рисунках 1.7 і 1.8 показано ефективність очистки маслос'ємних кілець з використанням динамічного методу.



Рисунок 1.7 – Поверхня маслос'ємного кільця до застосування

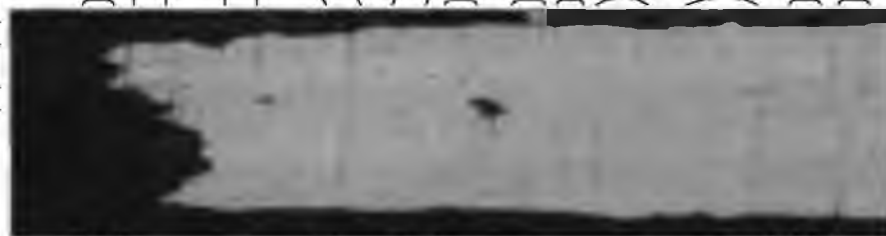


Рисунок 1.8 – Поверхня маслос'ємного кільця після застосування технології SURM

Присадки, що вводяться в паливо, покращують процес згорання робочої суміші, зменшують ймовірність заклинювання і задирів пар, що труться.

Широке застосування знайшли присадки, розроблені на основі металорганічних сполук, таких як солі барію, молібдену та ін. Найважливішою властивістю цих присадок є здатність металу не допускати коагуляції частинок сажі, що утворюються, у великі агломерати. Це припущення частково підтверджено тим, що при згоранні з присадкою сажові частки у газах, що відпрацювали, характеризуються не тільки меншою концентрацією, але і меншими розмірами [1]. Є також припущення, що на процес вигорання сажі та зниження при цьому мінімальної температури, що забезпечує згорання сажі, надає каталітичний вплив матеріал присадки.

Сутність цього способу очищення полягає в тому, що очисна рідина заливається в паливний бак і двигун експлуатується до пів-ного витрати палива. Основним недолгом даного способу очищення є можливість

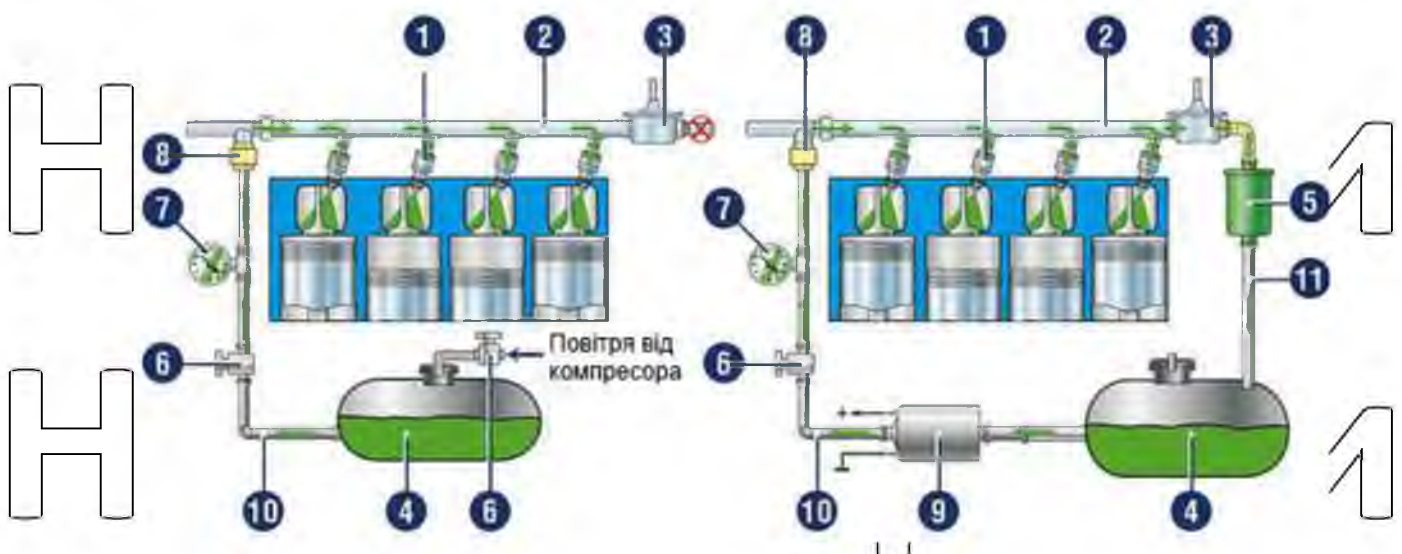
видалення відкладень, що накопичилися в паливному баку. Змиті зі стінок та днища бака ці відкладення надходять у паливну систему, забруднюючи паливний насос та форсунки.

Постачальники на ринок установки для очищення систем паливopодачі і камери згоряння зарубіжного виробництва базуються на принципі хімічного розчинення відкладень. Принцип дії установок заснований на подачі сольвенту, що очищає, у впускний колектор, що працює на хвостому ході двигуна, який, потрапляючи в камеру згоряння, поступово розчиняє відкладення, що накопичилися. При цьому штатний бензонасос автомобіля відключається або з'єднується зі зливним трубопроводом. Через перехідник до входу паливної рами або моноблоку дросельної заслінки (при центральній упорскуванні) під'єднується нагнітальний шланг стєнда. Для подачі сольвенту використовується одна з схем підключення:

- одноконтурна (рисунок 1.9 а) – тільки до нагнітальної частини паливної системи; у цьому випадку промиваються в здебільшого форсунки (циркуляція мийної рідини мала, так як вона обмежується прпусивною здатністю голчастого клапана форсунки);
- двоконтурна (рисунок 1.9 б) – до нагнітального і зливного паливopоводом, це забезпечує циркуляцію мийної рідини та блистку всієї паливної системи (крім бензобака, бензонасоса паливним фільтром).

а

б





а – одноконтурна; б - двоконтурна;  
1 - форсунка; 2 - палива рампка; 3 - регулятор тиску; 4 – емність з  
сольвентом; 5 - фільтр; 6 - вентиль; 7-манометр; 8 – перехідник; 9 – паливний  
насос установки; 10 – подаючий паливопровід, 11 – зливний паливопровід.

Рисунок 1.9 - Схеми установок для промивки форсунок

Спеціальне миюче паливо (миюча рідина, сольвент) подається з баку  
установки під визначеним тиском. Процедура очистки як правило,  
виконується в три етапи:

- робота двигуна протягом 15-20 хв;
- зупинка на 15-20 хв. для «відкисання» забруднень;
- завершальна робота двигуна 15-20 хв.

Існують установки, де ефективність промивання підвищується, подаючи  
на форсунки електричні імпульси з частотою 11,0 - 12,5 тисячі імпульсів і хвилину.

Мобільні (переносні) установки (рисунок 1.10) підключаються до  
паливної системи двигуна за одноконтурною схемою. Це пов'язано з тим, що  
подача миючої рідини здійснюється за рахунок тиску повітря від компресора  
(рисунок 1.9 а).



Рисунок 1.10 – Мобільні установки для промивання паливної систем

впорскування  
Перевагу таких установок полягає в тому, що їх можна використовувати,  
в будь-якому місці, де знаходиться автомобіль (при наявності

компресора). Основний недолік – циркуляція сольвента здійснюється не по всій паливній системі, і при цьому очищуються в основному тільки форсунки.

Стационарні установки (Рисунок 1.11) підключається по двоконтурній схемі і мають вбудований насос, що забезпечує повну циркуляцію мийної рідини в паливній системі. При цьому її надлишок повертається бак установки.

У цьому випадку промиваються форсунки, паливна рампа, регулятор тиску і інші елементи.



Рисунок 1.11 - Стационарні установки для промивки паливних систем впорскування

Основний недолік при промиванні форсунок без зняття з двигуна визначається тим, що їх неможливо діагностувати і, отже, об'єктивно оцінюється результати роботи.

Аналіз процесу впорскування форсункою водопаливної емульсії в камеру згоряння тракторного дизеля показав, що за період упорскування тиск емульсії у форсунці змінюється в широких межах; причому при закінченні емульсії спостерігається падіння тиску в кожному дросельному перерізі форсунки. Встановлено, що внаслідок перепадів тиску при впорскуванні



палива в циліндр дизеля випаровування крапель води відбувається в кінцевій фазі процесу при тиску 2 МПа і нижче. Він також спостерігається при вищому тиску біля соплових отворів розпилювача за рахунок підведення теплоти з камери згоряння. Підвищення температури емульсії в зоні розпилювача до повного припинення його подачі форсункою відбувається також внаслідок масообміну продуктів згоряння палива з емульсією.

Таким чином, при впорскуванні форсункою водопаливної емульсії в циліндр дизеля створюються температурні умови, за яких відбувається випаровування крапельок води. Це призводить до виникнення підвищених локальних тисків у зоні соплового каналу розпилювача і, як наслідок, до руйнування коксових відкладень. При випаровуванні крапель води у сопловому каналі розпилювача також відбувається витіснення залишків палива з об'єму між корпусом розпилювача та голкою після його посадки в сідло (для штифтових форсунок). В результаті покращуються умови сумішоутворення в кінцевій фазі впорскування і запобігає коксуутворенню.

Запропонований спосіб був реалізований у стендах КІ-15705, ОР-15720 та установці для відновлення потужності дизеля 03-13584.

Відомо, що з метою покращення процесу згоряння палива, в нього додають незначну кількість присадок. Найпростішою присадкою в паливі є вода. При збільшенні дозування води, що додається до палива, понад 7 %, економічність дизелів підвищується, а димність знижується. Додавання води в кількості 20...30 % призводить до підвищення потужності дизелів і зниження димності газів, що відпрацювали, на 30 % при збільшенні вмісту СxН, на 300 %. У разі застосування водопаливних емульсій (ВПЕ), через «мікро-удару» частинок води розпилення палива покращується, сумішоутворення досконаліше, витрата палива знімається на 4,5...7,5 %. З використанням водопаливних емульсій з 15 % води за масою відбувається зниження викидів оксидів азоту на 40 %, і з 60 % води — на 42...46 %.

Позитивним є зниження температури газів, що відпрацювали, на 20...25 %, головки циліндрів - на 10...12 %, а також зниження інтенсивності

запаху відпрацьованих газів і шумності процесу випуску. Незважаючи на те, що габаритні розміри та маса транспортного засобу при використанні водопаливних емульсій зростають незначно, ускладнюється обслуговування у зв'язку з необхідністю використання емульгаторів, збільшенням запасів води на борту. Надійність двигуна при використанні водопаливних емульсій може

знижуватися за рахунок обводнення олій. Погіршуються показники експлуатації двигуна, виникає небезпека корозії окремих деталей. Обґрунтовано склад ВПЕ, режими роботи дизеля, тривалість та періодичність

очищення нагару з деталей ЦПГ. Режим роботи під час очищення від нагару

тракторних дизелів рекомендується номінальне навантаження дизеля. Для автомобільних дизелів: холостий хід - 10 хв. Номінальне навантаження - 10 хв. Холостий хід при частоті обертання дизеля КаМАЗ-740 при  $n = 2600 \text{ хв}^{-1}$  -

5 хв. Навантажувальний режим визначається складом відкладів нагару. В'язки

та смолясті відкладення видаляються при роботі дизеля на холостому ході,

тверді при роботі на максимальному навантаженні. Час приготування емульсії на спеціальному стенді становить 30 хв, тривалість очищення 25...30 хв [6,37].

Очищення рекомендується проводити для тракторних дизелів при ТО-2

[6], для дизеля КаМАЗ-740 через 50...60 тис. км пробігу автомобіля для нових

та 20...30 тис. км для капітально відремонтованих дизелів [37]. Встановлено,

що ефективність застосування безрозбірного способу очищення більш ніж у 20 разів вища порівняно з розбірним способом.

Потрапляння крапель води в агрегати ДВЗ можна повністю виключити,

якщо використовувати воду у вигляді пари. Робот в даному напрямку не виявлено, тому воно представляє найбільший науковий і практичний інтерес.

Насичення повітря парами можна здійснити за допомогою його обробки у водо випарувальній насадці, встановленій у повітряній магістралі.

Таким чином, аналіз літературних джерел показав, що:

- найбільш перспективним способом очищення деталей і пару дизелів при їх технічному обслуговуванні є безрозбірне видалення нагаровідкладень;

• в даний час у системі технічного сервісу не існує обладнання, що дозволяє проводити при технічному обслуговуванні машинно-тракторного парку безрозбірне видалення нагаровідкладень з деталей та пару дизелів;

• застосування водопаливних емульсій представляє значний науково-практичний інтерес за умови повного запобігання корозійній небезпеці для прецизійних деталей паливної апаратури високого тиску;

• застосовувана вода може подаватися в ДВЗ в рідкому вигляді окремо від палива, або спільно з паливом у вигляді водопаливної емульсії, а також у вигляді водо-повітряної аерозолі або пара;

• спеціально приготувану поза циліндрами ДВЗ водопаливну емульсію (ВПЕ) використовують у найпростішому випадку. Її стійке горіння забезпечується при граничному вмісті води до 65...67%. До якості підготовки

ВПЕ пред'являються жорсткі вимоги, для виконання яких потрібні спеціальні гідродинамічні апарати. Зокрема застосовують упорскування в ємність з паливом води під надлишковим тиском 10...12 МПа. При цьому отриману водопаливну суміш необхідно періодично інтенсивно перемішувати за допомогою відповідних пристроїв, оскільки така емульсія має низьку кінетичну стійкість і від стану відносного спокою через деякий час

розширюється на вихідні компоненти. Крім того, потрібно забезпечити оптимальний розмір частинок води в суміші на рівні 1...5 мкм, оскільки при їх величині більше 10 мкм спостерігається корозія і підвищений знос паливної

апаратури. Подача ВПЕ здійснюється або безпосередньо в циліндри за допомогою стандартної або додаткової форсунки або у впускний трубопровід також форсункою.

#### **1.4. Висновки і завдання дослідження.**

За результатами раніше виконаних досліджень можна зробити наступні

**ВИСНОВКИ:**

1. Нагаровідкладення на днище поршня та вогневої поверхні головки циліндрів, забивання нагаром поршневих канавок та втрата рухливості поршневих кілець, а також закоксування розлиувачів форсунок мають

значний негативний вплив на показники ефективності та надійності дизельних двигунів.

2. Встановлено, що при граничній товщині шару нагару ефективна потужність дизеля знімається на 7 %, а питома витрата палива підвищується на 6 %. Це пояснюється погіршенням протікання робочого процесу та підвищенням механічних втрат: максимальний тиск циклу зростає на 1,6 %, а середня швидкість наростання тиску в циліндрі – на 22 %.

3. Напрацювання дизеля до допустимого значення товщини шару нагару на деталях ЦПГ в умовах реальної експлуатації тракторів становить менше 480 мото-год. Правилами технічного обслуговування тракторів ресурсне діагностування дизеля, що включає визначення ступеня зношеності та оцінку залишкового ресурса ЦПГ, передбачається при ТО-3. Однак, до цього моменту (напрацювання трактора 1000-1200 мото-год.) товщина шару нагаровідкладень перевищує граничне значення (0,8 мм), твердість нагару досягає 2Т-3Т, що ускладнює видалення нагару, а не рідко поряд з видаленням нагару доводиться проводити заміну закоксованих і покритих лаковими відкладами поршневих кілець та розпилювачів форсунок.

4. В даний час найбільш відомі та застосовувані методи безрозбірного очищення це використання ВПЕ та застосування присадок. При використанні ВПЕ покращується сумішоутворення та запобігає коксоутворенню, але при цьому знімається надійність двигуна за рахунок обводнення олив, погіршуються показники експлуатації, виникає небезпека корозії окремих деталей. Присадки покращують процес згоряння робочої суміші, не допускають коагуляції частинок сажі у великі агломерати. Недоліком даного методу є видалення відкладень, що накопичилися в паливному баку, отже, вихід з ладу паливного насоса та форсунок.

5. Обладнання, що випускається (стенди КІ-15705, ОР-15720, установка ОЗ-13854) не може бути ефективно використане через високу вартість комплектуючих виробів, великі габаритні розміри та масу, високу трудомісткість і тривалість процесу видалення нагаровідкладень. Закордонні

установки для видалення нагаровідкладень, що надходять на Російський ринок, не знаходять широкого застосування через недостатню апробацію на дизелях та високу вартість.

6. Виходячи з аналізу раніше виконаних досліджень та результатів використання запропонованих методів та технічних засобів для очищення нагаровідкладень на деталях ДВЗ, потрібна розробка менш енергоємних та ефективніших методів. У зв'язку з цим проблемою ефективного видалення нагаровідкладень при технічному обслуговуванні трактора, на наш погляд, можливо, вирішити шляхом впровадження перспективного технологічного процесу безрозбірного періодичного видалення нагаровідкладень на стадії їх формування (пужкості).

На підставі результатів проведеного аналізу стану питання та відповідно до поставленої мети, у роботі визначено такі завдання дослідження:

- обґрунтувати теоретичні основи процесу очищення деталей двигуна від нагаровідкладень;
- розробити аналітичну модель процесу видалення нагаровідкладень у двигуні шляхом подачі водяної пари в циліндри;
- розробити технологію видалення нагаровідкладень з деталей дизелів під час технічного обслуговування техніки;
- оцінити економічну ефективність застосування запропонованої технології очищення деталей двигуна від нагаровідкладень.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ УМОВ РУЙНУВАННЯ НАГАРОВІДКЛАДЕНЬ НА ДЕТАЛЯХ ДВИГУНА

### 2.1. Теоретичні передумови безрозбірного видалення нагаровідкладень при роботі двигуна на водопаливній емульсії

Узагальнення результатів робіт у галузі використання води у робочих процесах двигуна при формуванні паливно-повітряної суміші показало, що найбільше застосування знайшли способи подачі води у вигляді водопаливної емульсії (ВПЕ). В даний час достатньо відомі результати численних досліджень з використання ВПЕ в робочих процесах двигуна з метою поліпшення якості процесу сумішоутворення, зниження токсичності відпрацьованих газів і видалення нагаровідкладень [38, 43].

Встановлено, що при роботі дизеля на водопаливній емульсії значно покращується процес сумішоутворення за рахунок явища «мікроудару», оскільки краплі емульгованого палива, що утворилися після впорскування через форсунки, складаються з частинок палива, всередині яких розташовується велика кількість води, що хаотично рухаються. Розміри цих включень коливаються від 1 до 3 мкм [44].

Відомо, що у процесі роботи двигуна на водопаливній емульсії, руйнування нагаровідкладень на поверхнях камери згоряння, розпилювачах форсунок, днище поршня, вогневої поверхні головки циліндрів тощо. відбувається через підвищену кінетичну енергію молекул води (пари) під дією локальних знакозмінних згинальних зусиль. Локальні тиски, що виникають при цьому, порушують міцність зв'язку всередині нагаровідкладень, таким чином процес нагаровідкладення можна, на наш погляд, розглядати як хвильовий. При розповсюдженні поздовжньої хвилі, що викликається тактами стиснення та розрідження в парі води, згідно Холла, спостерігається електростатичний ефект, що супроводжується утворенням змінного електричного поля. Молекули води та негорючі домішки палива



(нагароутворення) при високих швидкостях руху (при горінні палива) зумовлюють виникнення електричних та магнітних мікрополів. У змінному електричному полі, що збуджується коливаннями поршня, вони постійно змінюють свою орієнтацію з частотою зміною тактів. Штучна орієнтація молекул порушує заряди іонів і веде до зменшення зв'язку з-поміж них, цим руйнуючи нагаровідкладень. Механічне вплив поперечних хвиль створюється локальними знакоперемінними згинальними зусиллями, як розглянуто вище.

Каталізатором процесу руйнування та видалення нагаровідкладень є підвищена температура поверхонь камери згорання та інших деталей, що створюється перегрітими парами води, що значно знижує втрати енергії на нагрівання тепло повітряної суміші та сприяє видаленню високотемпературних відкладень.

Основним фактором можливості використання води для видалення нагаровідкладень із поверхонь деталей двигуна є підвищений коефіцієнт теплопровідності води порівняно з дизельним паливом або бензином. Так, наприклад, коефіцієнт теплопровідності води при тиску 10 МПа і температурі 413 К становить  $1,55 \times 10^{-1}$  Вт/мК, а дизельного палива —  $0,9637 \times 10^{-1}$  Вт/мК.

Слід зазначити, що у відомих теоретичних дослідженнях з використання ВПЕ в робочих процесах двигуна не враховується вплив емульгованого палива на надійність роботи паливної апаратури та інтенсифікацію корозії.

Таким чином, виходячи з результатів аналізу проведених досліджень, можна зробити припущення, що раціональним та найбільш ефективним способом є подача води до камер згорання двигуна у парооборотному стані разом з повітрям. При цьому необхідно відзначити, що подача пари гарантує відсутність крапельної вологи в двигуні і, відповідно, сприяє процесам зносу та корозії - негативним побічним ефектам, що мають місце при використанні ВПЕ.

Метою теоретичних досліджень є обґрунтування умов руйнування нагаровідкладень на деталях двигуна.

В основу робочої гіпотези руйнування нагаровідкладень на деталях двигуна покладено явища парострумнинної ерозії та кавітаційного впливу.

## 2.2. Аналітична оцінка процесу тепло масообміну крапель емульгованого палива

Аналіз фізики процесів нагрівання та випаровування води, що проходять у двигуні, створення моделей, що враховують вплив теплообміну води та внутрішньо циліндрових газів на їх термодинамічні характеристики та параметри робочого процесу двигуна, повинні враховувати комплексний вплив впорскуваної в циліндри води. Він представлений трьома складовими: конвективною - теплообмін між циліндровими газами та впорснутою водою; термодинамічної - зміна теплоємності та внутрішньої енергії суміші циліндрових газів та водяної пари; термохімічної — хімічні реакції горіння паливної суміші за участю води у пароподібному стані [47].

Конвективний теплообмін визначає час локального впливу вод на робочий процес, внаслідок якого різко змінюються термодинамічні параметри циліндрових газів. При цьому вода, впорснута в циліндри двигуна в пароподібному стані, розпадається на дрібно-дисперсні краплі, завдяки чому досягнення критичного стану можливо за короткий проміжок часу.

При попаданні крапель води в середовище циліндрових газів, її температура в результаті теплообміну з газами зростає і може стати вищою за рівноважну температуру кипіння, що відповідає внутрішньому циліндровому тиску.

Перегрів рідини призводить до виникнення всередині крапель метастабільного стану та умов для їхнього спонтанного закипання, незважаючи на те, що у воді, що впорскується у вигляді дрібнодисперсної фази, кількість штучних центрів пароутворення різко знімається, і, отже, зародки пари можуть виникати тільки внаслідок теплової флуктуації. Спонтанне закипання води, що відбувається у вигляді «мікро-ударів» крапель, визначає локальний (короткочасний) вплив води, що управляє, на поверхні нагаровідкладень.

Термодинамічний аналіз стану водопаливної суміші в циліндрах двигуна ґрунтується на припущенні, що одночасно з підводом рідини на кожному нескінченно малій ділянці термодинамічного процесу відводиться кількість тепла, що дорівнює теплоті рідини, що випаровується. Після переходу води з рідкого стану в газоподібний відбувається подальший відбір теплоти від циліндрових газів. Пара, що утворилася в результаті випаровування крапель води в процесі теплообміну з газами, нагріватиметься, що призведе до зміни теплоємності суміші та її внутрішньої енергії, внаслідок чого створюються умови виникнення «мікро-ударів».

Виходячи з вище викладеного, сформулюємо аналітичну модель процесу тепло масообміну краплі ВПЕ, прийнявши при цьому такі обмеження та припущення:

1. Зважаючи на небагато розмірів крапель нехтуємо впливом на динаміку руху частинок сили тяжіння.
2. Температура в об'ємі краплі однакова, тобто  $dT/dR = 0$ , де  $R$  – радіус краплі.
3. Пульсації середовища відбуваються у одній площині.
4. Нехтуємо зміною форми та розмірів крапель (внаслідок об'ємного розширення тїл) при їх нагріванні.

Припустимо, що крапля ВПЕ з початковою температурою  $T_0$  поміщена у обурене газове середовище. Параметри останньої (тиск  $P_1$ , температура  $T_1$ , частота  $f$  і амплітуда  $A$  пульсацій швидкості руху, а також закономірності зміни цієї швидкості) будемо вважати відомими. Припустимо далі, що  $T_1 \gg T_0$ . Останній викличе інтенсивний теплообмін між газом та краплею. При цьому відбуватиметься наступний ланцюжок процесів:

1. Прогрів частки емульсії до температури  $T_{II}$  перегріву води. У продовж цього періоду відбуватиметься інтенсивний процес випаровування легких фракцій;
2. Перший «мікро-удар»;

3. Прогрів і випаровування палива, випаровування води в краплі, перегрів водної пари, що утворюються. Цей процес триває до моменту, коли обсяг краплі досягне критичного значення;

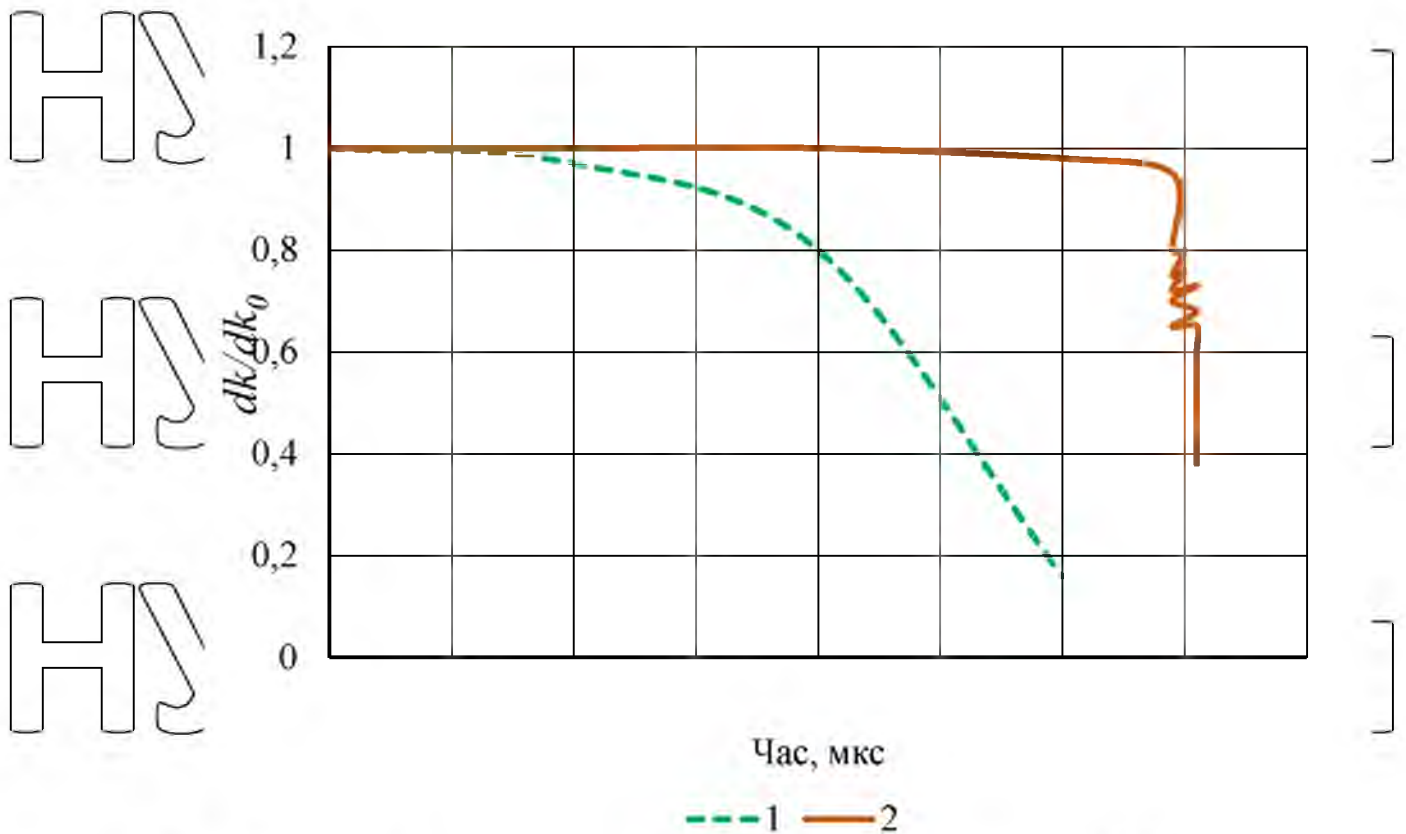
4. Другий «мікро-удар» і т.д.

5. Відповідно до описаної вище фізичної картини процесу тепломасообміну краплі ВПЕ, розділимо останній на  $j$  періодів:  $j = 1$  - період від початку прогріву частки до першого «мікро-удару»;  $j = 2$  - період між першим і другим «мікро-ударами»;  $j = 3$  - період між другим і третім «мікро-ударами» і т.д.

Розглянемо далі математичний опис процесу виникнення першого «мікро-удару», а потім зазначимо характерні відмінності інших. Вважатимемо, що перший «мікро-удар» відбувається миттєво при температурі  $T_{II}$  перегріву води. Зміни значень швидкості руху газового середовища  $V$ , швидкості руху краплі  $\omega$  і переміщення краплі  $H$  при «мікро-ударі» не відбувається.

### **2.3. Аналіз результатів теоретичного розрахунку процесу тепломасообміну крапель водопаливної емульсії**

Розглянемо випаровування краплі безводного та емульгованого моторного палива діаметром  $d_{kp} = 0,001$  м та початковою температурою  $T_{T0} = 305$  К, розміщену в газове середовище з температурою  $T_1 = 873$  К і тиском  $P = 4$  МПа (рисунок 2.2). Аналіз показує різку зміну випаровування краплі при введенні в паливо водневої фази.

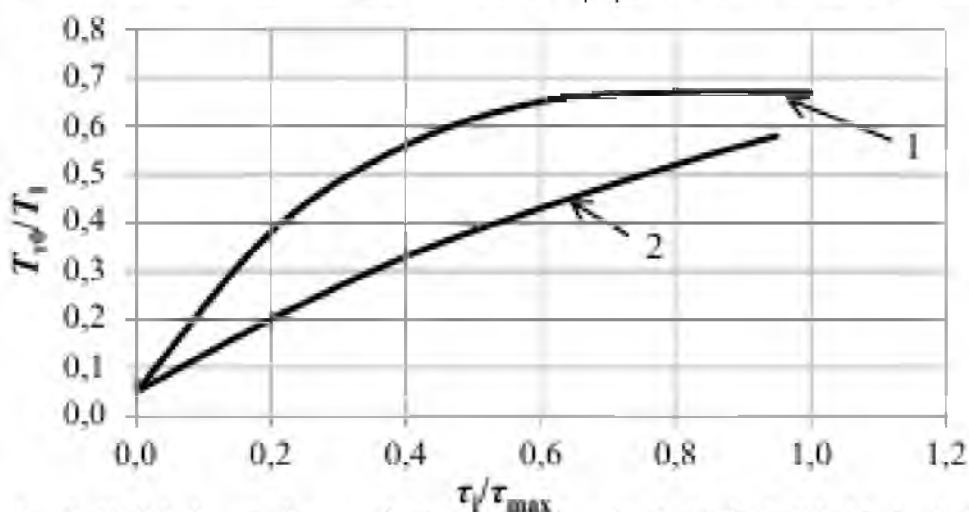


1-дизельне паливо; 2-ВПЕ  
 Рисунок 2.2 - Зміна діаметра краплі дизельного палива і його ВПЕ з плином часу

Крапля безводного палива випаровується плавно, монотонно зменшуючись в діаметрі. При введенні в паливо дисперсної водяної фази, швидкість випаровування краплі різко зменшується — дається взнаки вплив води, маючи більшу теплоємність в порівнянні з «чистим» паливом.

Виділяється дві ділянки з різними характерами протікання процесу випаровування: прогрів краплі ВПЕ до температури перегріву води та «мікро-удари». При більш детальному розгляді «мікро-ударів» краплі ВПЕ (рис. 2.3) можна побачити, що після першого «мікро-удару» крапля, під дією водяної пари, знову починає збільшуватися в діаметрі до критичного значення, після чого настає новий «мікро-удар». Так проходить до тих пір, поки палива в краплі не залишиться. Це свідчить про те, що результати розрахунків по пропонуваній моделі достатньо повно відбивають фізичну картину виникаючих при випаровуванні краплі ВПЕ процесів.

Розглянемо, як змінюється температура краплі без водного і емульгованого палива. На рисунку 2.4 порівнюється прогрів краплі дизельного палива і його ВПЕ.



1 - дизельне паливо; 2 - ВПЕ,

$\tau_{max}$  – загальна тривалість існування краплі ВПЕ;  $\tau_i$  – поточне значення часу існування краплі ВПЕ.

Рисунок 2.4 – Зміни температури крапель безводного та емульгованого палива

Як бачимо, прогрів краплі емульсії іде значно повільніше, ніж безводного палива. Ймовірно присутність води, яка має більшу ніж паливо теплоємність. Прогрівшись до температури перегріву води, крапля «вибухає» і «оохолоджується» до температури насичення.

Подальші спроби «прогрітися» закінчуються для неї новим «мікроударом» та новим «оохолодженням».

## 2.4. Висновки за результатами теоретичних досліджень

1. Розроблена аналітична модель процесу теплообміну краплі ВПЕ з навколишнім повітряним середовищем високого тиску і температурою дозволила провести аналітичний експеримент і встановити закономірності теплообміну

2. Аналіз результатів чисельного експерименту дозволив встановити основні закономірності процесів тепло масообміну крапель ВПЕ. Серед них найбільш важливими є наступні:

— за інших рівних умов, тривалість «життя» краплі ВПЕ при параметрах середовища, близьких до тих, що мають місце в дизелях, більша, ніж крапель вихідного (безводного) палива;

— встановлено, що зі збільшенням вмісту води у ВПЕ процеси «мікро-ударів» починаються раніше, а тривалість існування краплі дещо знижується, але не стає меншою, ніж частинок вихідного(безводного) палива;

при зниженому тиску середовища, характерному для експлуатації зношених двигунів, скорочується тривалість «мікро-ударів» крапель ВПЕ, а викиди «парогазу» йдуть інтенсивніше, що має сприяти збільшенню локальних значень коефіцієнта надлишку повітря та створювати передумови для збільшення частки палива, що згоряє за кінетичним механізмом;

— збільшення амплітуди коливань швидкості повітряного середовища веде до помітного скорочення часу існування краплі ВПЕ. Частота коливання ній помітного впливу на досліджуваний процес не надає.

3. Газо місткі водної фази ВПЕ істотно впливає на тривалість процесу тепло масообміну. При підвищенні газу утримання температура перегріву води знижується, і тривалість існування краплі ВПЕ скорочується. Отже, для підвищення газу утримання водної фази рекомендується подавати воду в циліндри двигуна в пароподібному стані.



## НУБІП України

## 3.1 Об'єкт дослідження і опис експериментальної установки

НУБІП України

Аналіз робіт по використанню водопаливних емульсій в якості палива показав, що подання в камери згоряння деякої кількості води дозволяє вирішити проблеми підвищення експлуатаційної паливної економічності енергетичної установки, покращення її екологічні показники і зниження

теплової напруженості [66-88].

НУБІП України

Метою експериментальних досліджень є оцінка характеру утворення нагаровідкладень на деталях двигуна, обґрунтування оптимальної кількості

води у емульгованому паливі і оцінка ефективності технології очищення поверхонь деталей двигуна від нагаровідкладень шляхом подання водяної пари у впускний трубопровід.

НУБІП України

В якості об'єкту дослідження прийнятий мікрохвильовий процес

очистки деталей двигуна від нагаровідкладень водяним паром. Для отримання водяної пари використовувалася експериментальна установка (рисунок 3.1) на

НУБІП України

базі електричного електродного парогенератора моделі ПЕЕ-15. Парогенератор призначений для вироблення водяної пари з температурою від 130 до 160 °С. Основні технічні характеристики парогенератора наведено в таблиці 3.1.

НУБІП України

НУБІП України





Рисунок 3.1 – Трактор з обладнанням для очищення двигунів від нагаровідкладень.

Таблиця 3.1 Технічні характеристики парогенератора

№ п/п	Найменування показника, одиниці вимірювання	Значення показника
1	Максимальна паропроductивність, кг/год	15
2	Максимальний робочий тиск пари, МПа	0,55
3	Споживана потужність при максимальній паропроductивності, кВт	Не більше 12
4	Час розігрівання до робочого тиску при максимальній продуктивності, хв.	Не більше 6
5	Об'єм котла, л	25

Робчі параметри парогенератора забезпечуються запобіжною системою, що складається із запобіжного клапана надлишкового тиску, реле контролю тиску, запобіжного терморегулятора. Подача водяної пари в камеру згорання двигуна подається за допомогою гнучкого шлангу, приєднаного до повітря-провідному тракту повітря-очисника.

### 3.2. Оцінка характеру освіти нагаровідкладень на деталях двигуна

Для оцінки характеру утворення нагаровідкладень на поршнях передбачалося проведення експериментальних досліджень двигунів.

Характер утворення нагаровідкладень на поршнях оцінювався за двома параметрами: товщині та твердості. Товщина нагаровідкладень замірялася товщиноміром ГТ 230 (технічні характеристики якого представлені в таблиці 3.2), а твердість визначалася ГОСТ 20991.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики товщиноміра ГТ 230

Найменування показника	Значення показника
Діамазон вимірювань, мкм	0...1250
Дискретність індикації, мкм	1,0
Похибка вимірювань, мкм	+1,5

Обсяг вибірки визначався з виразу:

$$N_0 = \frac{K_B^2 \cdot Z_B^2}{\varepsilon^2}, \quad (3.1)$$

де  $K_B$  - коефіцієнт варіації, що характеризує розсіювання експериментальних даних;  $Z_B$  - величина, що характеризує достовірність результатів випробувань і, що залежить від достовірної ймовірності;  $\varepsilon$  - відносна похибка результатів випробувань

$$K_B^2 = \frac{S}{\bar{a}}, \quad (3.2)$$

де  $S$  - середньоквадратичне відхилення;  $\bar{a}$  - середня арифметична величина розсіюваного показника.

Обсяг вибірки є достатнім для отримання достовірних результатів і становить 36 поршнів.

Методикою передбачалося оцінка характеру утворення нагаровідкладень залежно від напрацювання дизеля: у першій групі

напрацювання складало 1200...1250 мото-год., у другій 1250...1300 мото-год., у третій 1300...1420 мото-год., у четвертій 1420...1500 мото-год., у п'ятій 1500...1650 мото-год. і шостій 1650...1710 мото-год. Підбір досліджуваних дизелів обґрунтовувався виходячи із стабілізації параметрів нагароутворення при напрацюванні понад 960 мото-год. Кожен поршень був розділений на ділянки розміром 10x10 (рисунок 3.3), до яких проводилися виміри товщини і твердості нагару. Твердість за ГОСТ 20991 оцінювалася у відносних одиницях твердості (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Відповідність пропонованих одиниць твердості та твердості за ГОСТ 20991

Твердість за ГОСТ 20991	2М	М	ТМ	Т	2Т	3Т
Твердість у відносних одиницях	-2	1	0	1	2	3

Статистичне опрацювання результатів проведено з використанням програми SPSS 12.0.

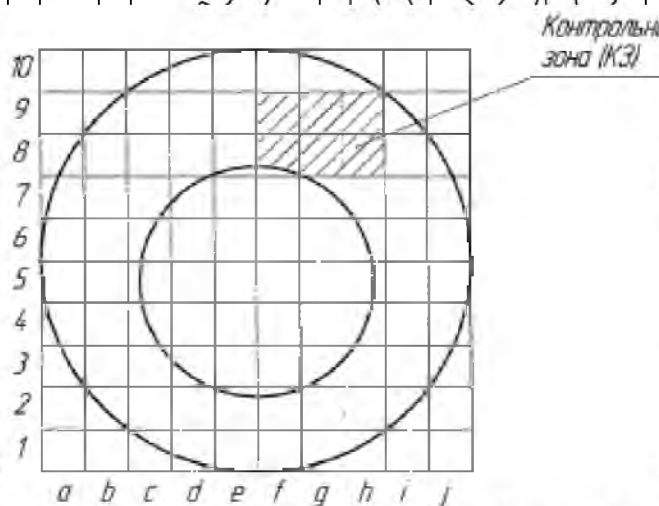


Рисунок 3.3 - Схема визначення нагару на днищі поршня

За результатами виміру параметрів нагару будувалися гістограми та щільність розподілу товщини та твердості окремих груп поршнів з врахуванням середнього значення параметрів нагару в кожній зоні поверхні

За щільністю розподілу визначено максимальні значення товщини та твердості нагару на поверхні поршнів, а також зони, в яких поєднання товщини та твердості нагару мають максимальні значення.

Для підтвердження достовірності отриманих результатів визначалося відносне відхилення параметрів нагароутворення у контрольній зоні всіх груп поршнів. Відносне відхилення визначалося за виразом:

$$S = \pm \frac{\Delta a}{\bar{a}}, \quad (3.3)$$

де  $\Delta a$  - абсолютна похибка у сукупності повторних дослідів, мкм;

$\bar{a}$  - середньарифметична величина проведених вимірювань, мкм.

$$a = t \Delta S \bar{a}, \quad (3.4)$$

де  $t$  - коефіцієнт Стьюдента для заданої надійності про кількість вироблених вимірювань  $n$  (при  $\alpha = 0,95$  і  $n = 6$ ,  $t = 2.57$ );  $\Delta S \bar{a}$  - середня квадратична похибка серії вимірювань, мкм.

$$\Delta S \bar{a} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (3.5)$$

де  $a_i$  - поточне значення товщини нагару для  $i$ -ої групи поршнів, мкм;

$\Delta a_i$  - похибка окремих вимірювань, мкм.

### **3.4. Визначення оптимальної кількості води, що подається у впускний повітряний патрубок**

Метою досліджень є визначення максимальної кількості води, що подається в камери згоряння дизеля, та обґрунтування тривалості роботи дизеля під час очищення деталей від нагаровідкладень.

Безрозбірний спосіб очищення деталей двигуна від нагаровідкладень передбачає короткочасну роботу дизеля при подачі води на впуску на режимі холостого ходу

Задля реалізації поставленої мети проведено лабораторно-експериментальні дослідження. Методикою досліджень передбачалося визначення швидкісного режиму холостого ходу дизеля, кількості води, що подається на впуску, і тривалості безрозбірного очищення від нагаровідкладень двигуна.

Для проведення досліджень використовувалися двигуни з напрацюванням від 1200 до 1700 мото-год, за якої відбувається стабілізація параметрів нагароутворення.

Для організації подачі води в камери згоряння використовувався парогенератор (рисунок 3.1).

Після запуску дизель прогрівався до робочої температури 85-90 °С. Контроль здійснювався електронним тахометром РВТ і приладом ІМД-ІІМ.

Контроль за зміною товщини нагару у процесі очищення проводиться через кожні 10 хв. роботи дизеля. Сумарний час очищення складає 60 хв.

Оцінка інтенсивності очищення нагару проводиться за виразом:

$$C_{\delta} = \frac{t_H}{\tau}, \quad (3.10)$$

де  $t_H$  - початкове значення товщини нагару у контрольній зоні, мкм.;

$\tau$  - протяжність очищення, хв..

За результатами експериментальних досліджень будуються криві зміни значення товщини нагару залежно від часу очищення та зміни швидкості очищення залежно від кількості води на впуску за різних режимів роботи дизеля. Зудиняється кореляційна залежність між зміною швидкості очищення нагару та зміною показника ефективності очищення теоретичних досліджень.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ

ДОСЛІДЖЕНЬ

# НУБІП України

4.1. Результати досліджень роботи дизеля на емульгованих паливах.

Результати експериментальних досліджень дизеля Д-245.12 на режимах зовнішньої швидкісної характеристики наведено у таблиці 4.1 та на рисунку 4.1.

Таблиця 4.1 - Показники дизеля Д-245.12 при роботі на різних паливах

Показники дизеля	Вид палива		
	дизельне паливо (ДП)	92,5% ДП + 7,5% води	83,0% ДП + 15,0% води
1	2	3	4
По-годинна витрата палива $G_T$ , кг/год:			
на режимі максимальної потужності	17,42	17,42	17,70
на режимі максимального крутного моменту	12,25	11,78	11,90
Крутний момент $M_e$ , Н·м:			
на режимі максимальної потужності	271	259	231
на режимі максимального крутного моменту	355	329	305
Димність ВГ $K_X$ % за шкалою Хартріджа:			
на режимі максимальної потужності	16,0	12,0	8,5
на режимі максимального крутного моменту	28,0	20,0	18,0
Питомий ефективний розхід палива $g_e$ , г/(кВт·год)			
на режимі максимальної потужності	255,5	267,5	305,1



	1	2	3	4
на режимі максимального крутного моменту		216,7	227,7	248,3
Ефективний ККД дизеля $\eta_e$ :				
на режимі максимальної потужності	0,322	0,342	0,327	
на режимі максимального крутного моменту	0,386	0,402	0,402	

Наведені дані свідчать про те, що переведення дизеля з дизельного палива (ДП) на емульговані палива не призводить до істотної зміни годинної витрати палива  $G_H$ , (за винятком режимів з низькою частотою обертання - при  $n=1400 \text{ хв}^{-1}$ ). Але при цьому через знижений вміст горючих компонентів (вуглецю  $C$  і водню  $H$ ) в емульгованих паливах при їх використанні показники потужності дизеля (ефективна потужність  $N_e$  і крутний момент  $M_e$ ) помітно знижуються.

Так, при переведенні дизеля з ДП на емульсію, що містить 85 % ДП та 15 % води, на режимі максимального крутного моменту при  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$  крутний момент двигуна  $M_e$  знизився з 355 до 305 Н·м, а на режимі максимальної потужності при  $n = 2400 \text{ хв}^{-1}$  - з 271 до 231 Н·м (таблиця 4.1).

Результати оцінки показників двигуна при його роботі на режимах з різним навантаженням показали, що на більшості досліджуваних режимів при використанні емульгованих палив годинна витрата палива дещо зростає (рис. 4.1).

Зростання годинної витрати палива пояснюється більшою щільністю води ( $\rho = 998,2 \text{ кг/м}^3$ , у ДП -  $\rho = 830 \text{ кг/м}^3$ ) і, отже, більшою щільністю досліджуваних емульгованих палив. У паливних системах дизелів реалізується об'ємне дозування палива, і маси рівних об'ємів емульгованих палив виявляються більшими, ніж маса такого ж обсягу ДП. Деяке зменшення

годинної витрати палива  $G_T$  на режимах зі зниженою частотою обертання та малим навантаженням (наприклад, на режимах з  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$  і  $M_e = 40 - 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$ )

появляється підвищеннями витратами емульгованих палив, викликаними їх меншою в'язкістю, та зниженням об'ємних подач цих палив.

Тип палива, що застосовується, має визначальний вплив на токсичність в дпрацьованих газів двигуна, тобто викиди нормованих токсичних компонентів ВГ — оксидів азоту  $NO_x$ , монооксиду вуглецю  $CO$ , вугливоди, що не згоріли -  $CH_x$ , а також емісію твердих частинок або викиди сажі  $S$ .

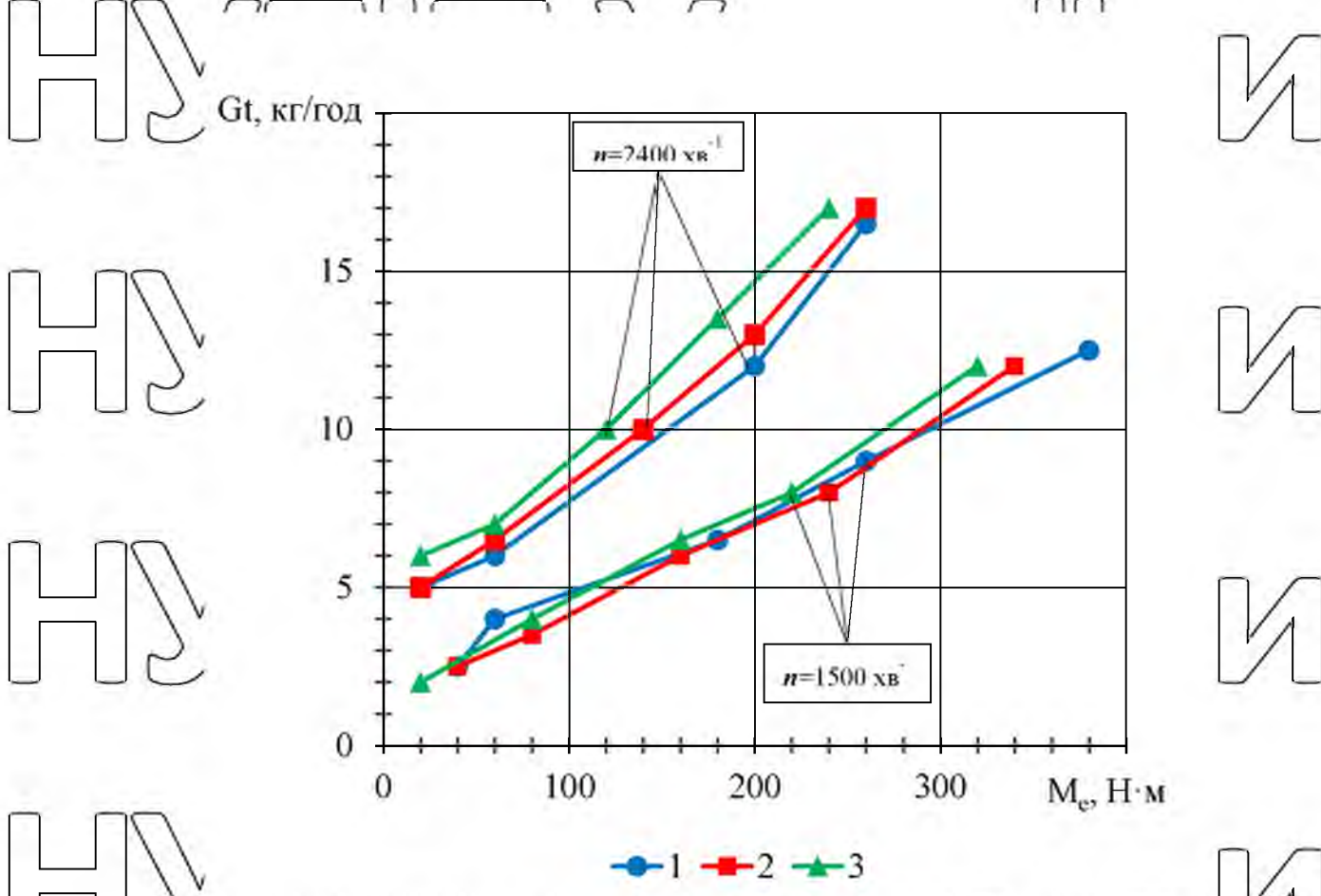


Рисунок 4.1 Залежність по-годинної витрати палива  $G_T$  від

швидкісного і навантажувального режиму (частоти обертання  $n$  і ефективного

крутного моменту  $M_e$ ) дизеля Д-245.12 при використанні різних видів палив.



Подача емульгованих палив у камери згорання дизельного двигуна значно знижує емісію оксидів азоту  $C_{NOx}$ , у відпрацьованих газах.

Представлені результати експериментальних досліджень підтвердили можливість і ефективність використання емульгованих палив у дизелях і не суперечать результатам раніше проведених експериментів іншими дослідниками.

Зростання ефективності процесу згорання (ефективний ККД дизеля  $\eta_e$ ) зниження димності ВГ  $K_x$  під час роботи на емульгованих паливах пояснюється поліпшенням якості процесу сумішоутворення за рахунок виникнення так званих «мікро-ударів», що спостерігаються при підвищених температурах у камерах згорання дизеля. Їх поява обумовлена тим, що краплі емульгованого палива складаються з частинок палива, всередині яких перебуває велика кількість включень води, що хаотично рухаються. При температурах, що перевищують температуру кипіння води (при  $t > 100^\circ\text{C}$ ), ці включення швидко випаровуються, що призводить до мікротурбулізації паливно-повітряної суміші, зниження витрати палива, зменшення вмісту відсажових частинок. Крім того, присутність значної кількості парів води в камерах згорання з нестачею кисню перешкоджає крекінгу палива при високих температурах, а також сприяє газифікації нагаровідкладень, що утворилися, в результаті їх контакту з водяними парами при високій температурі.

#### 4.2. Результати дослідження механізму утворення нагаровідкладень на деталях двигуна

З результатів досліджень, проведених різними авторами, встановлено, що основний вплив на утворення нагаровідкладень на поверхнях деталей двигунів, що контактують з моторним маслом, надає їх тепловий стан.

Для експериментальних досліджень залежностей кількісних характеристик нагаровідкладень у двигунах від їх теплового стану

використовувалися 10 двигунів Д-245.12 у складі автомобілів ЗІЛ-5301 на автополігоні. При цьому витримані такі умови випробувань: середня технічна швидкість автомобілів 30...32 км/год, температура навколишнього повітря 18...26 °С, пробіг до 5000 км.

В результаті випробувань встановлено, що при збільшенні пробігів автомобілів (напрацювання двигунів) збільшилась кількість механічних домішок у моторних оліях та їх параметри (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 - Зміна фізико-хімічних параметрів моторної оливи при випробуваннях двигунів Д-245.12

№ п/п	Найменування параметрів	Значення параметрів у залежності		
		3,0	3,8	5,0
1	Механічні домішки, %	0,090	0,091	0,94
2	Кокс, %	0,49	0,64	0,87
3	Зола, %	0,011	0,016	0,022
4	Бензин, %	1,9	2,0	2,0
5	Кислотність, мг/л	0,53	0,45	0,38

Експерименти з дослідження процесів утворення нагаровідкладень проводились спільно з лабораторією випробування вантажних автомобілів ЗІЛ на моторних стендах. У процесі випробувань контролювалися витрати повітря і палива, тиск і температура газів, що відпрацювали, температура олиї та охолоджуючої рідини. При цьому на стендах витримувалися режими: частота обертання колінчастого валу, що відповідає максимальній потужності (100% навантаження), і, по черзі, протягом 3,5 годин - 70 % навантаження, 50 % навантаження, 40 % навантаження, 25 % навантаження та без навантаження, тобто. експерименти були проведені за навантажувальними характеристиками двигунів. При цьому температура рідини, що охолоджує, витримувалася в інтервалі 90...92°С, температура масла в головній масляній магістралі - 90...95°С. Після цього двигуни розбиралися і проводилися необхідні виміри.

Механізм утворення нагаровідкладень на поверхнях днищ поршнів двигунів Д-245.12 характеризують дані, що представлені на рисунку 4.2.

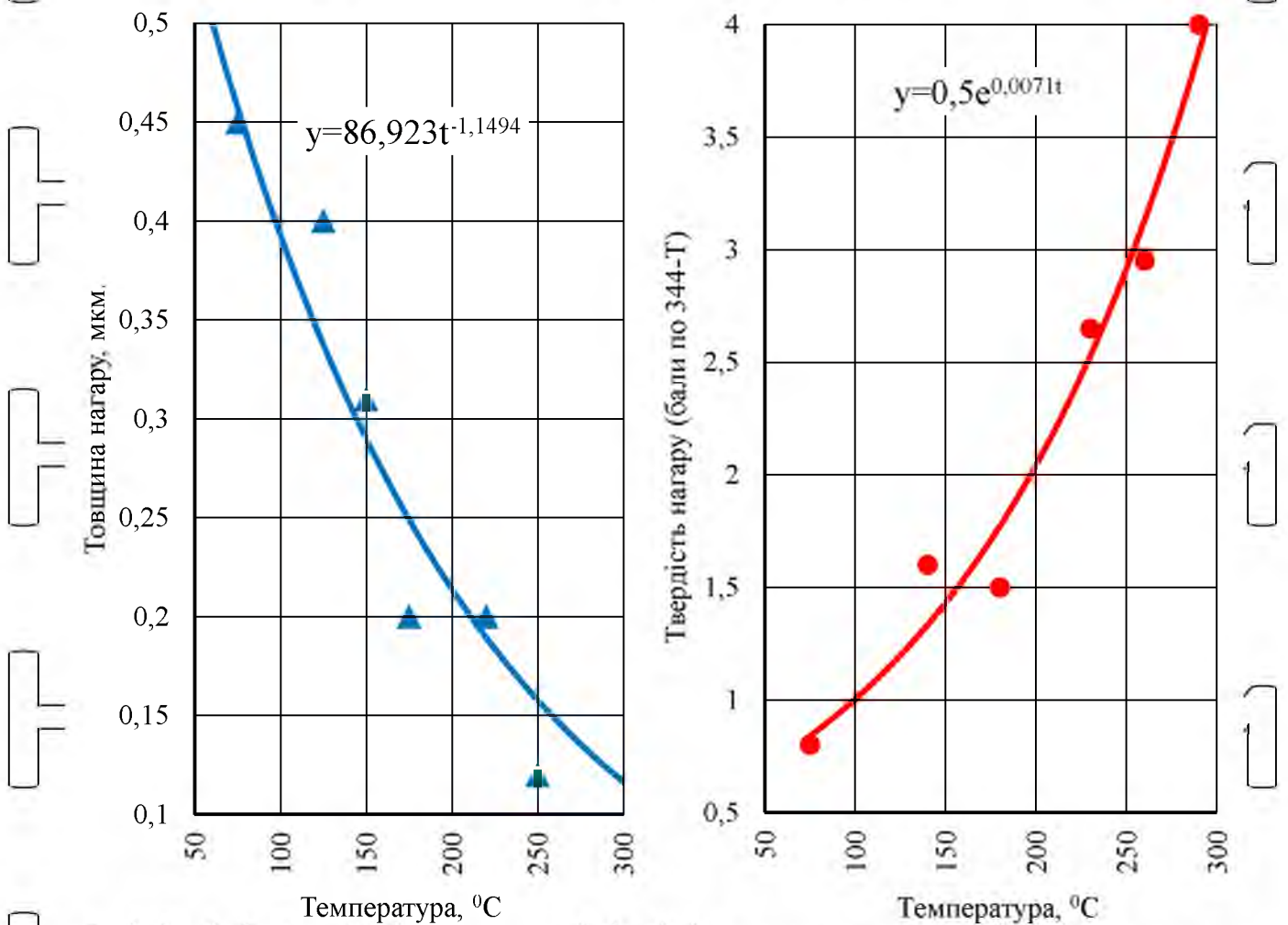
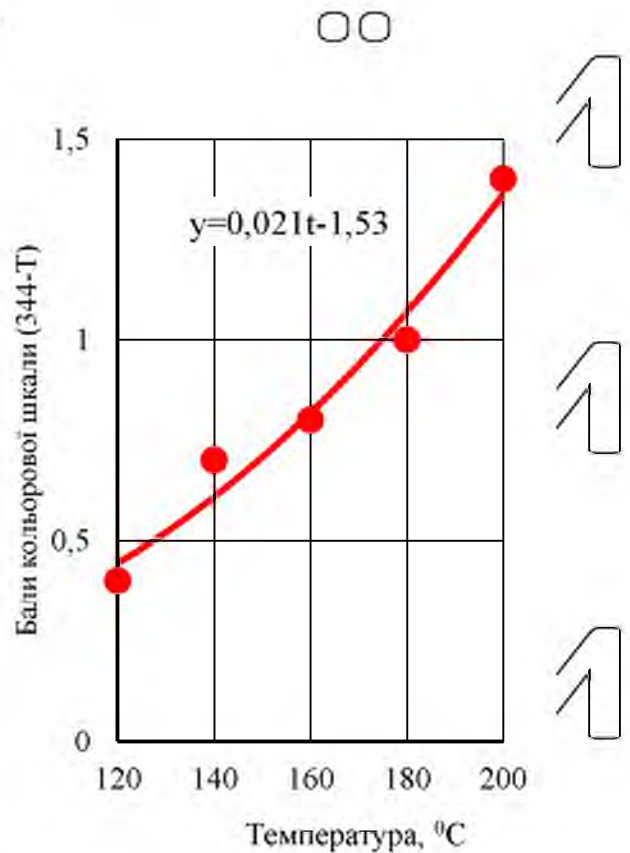
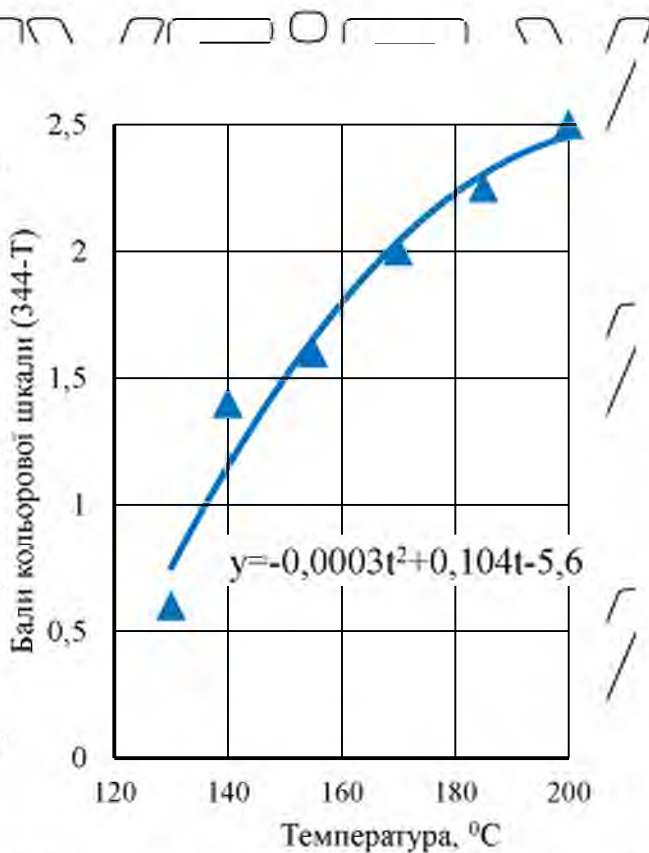


Рисунок 4.2 - Залежності утворення нагаровідкладень на поверхнях днищ поршнів від їх температури

З аналізу залежностей випливає, що при підвищенні температур днищ поршнів від 100 до 300 °C товщина відкладень нагару зменшилася з 0,45...0,50 до 0,10... 0,15 мм, що пояснюється випалюванням нагару під час підвищення температури поверхонь двигунів. Твердість нагару підвищилася з 0,5 до 4,0...4,5 балів через спікання нагару при високих температурах.

Дані щодо лаку вогорення на поверхнях поршнів двигунів наведені на рисунку 4.3.

З аналізу поданих залежностей випливає, що лакоутворення на поверхнях поршнів двигунів однозначно збільшується збільшенням температур їх поверхонь. На інтенсивність лакоутворення впливає не тільки підвищення температур поверхонь деталей, а й тривалість її дії, тобто тривалість роботи двигунів. При цьому, проте, процеси лакоутворення на робочих поверхнях, що труться, поршній суттєво уповільнюються в порівнянні з внутрішніми (неробочими) поверхнями, внаслідок стирання шару лаку внаслідок тертя.



а - внутрішні поверхні;

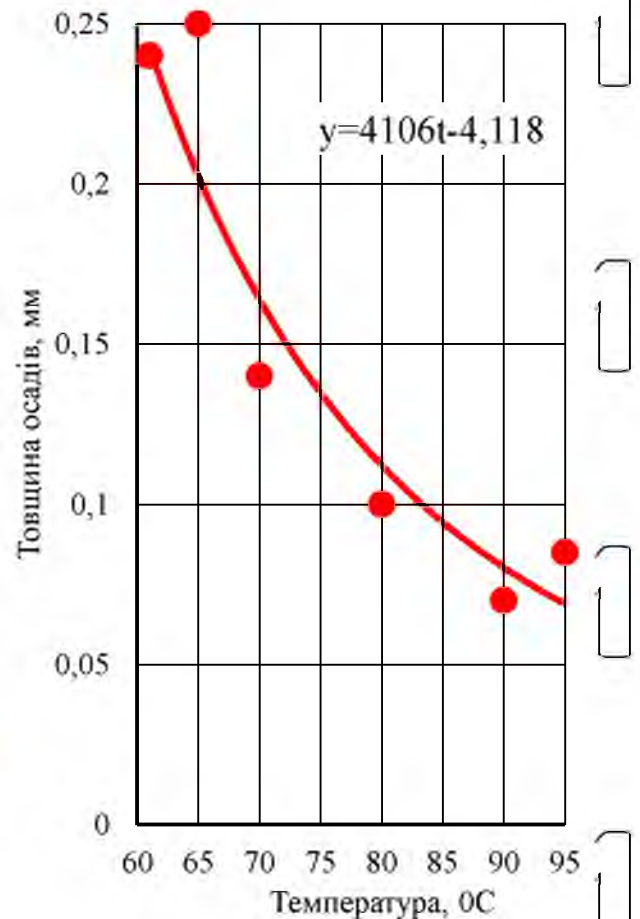
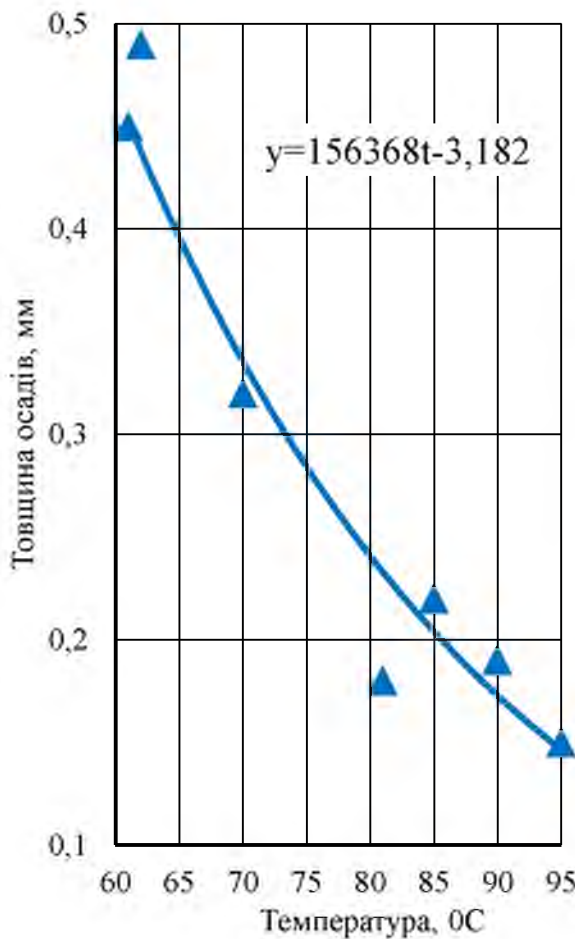
б - бічні поверхні

Рисунок 4.3 — Залежність відкладень лаку на поверхнях поршнів двигунів від їх температур

Планомірне збільшення відкладень лаків на внутрішніх (неробочих) поверхнях поршнів викликає зменшення тепловідведення в картерне масло при збільшенні напруження двигунів.



Утворення осадів (шламів) з моторних оливо відбувається найбільше на поверхнях картера та клапанної кришки. Результати досліджень осадотворення в двигунах Д-245.12 наведено на рисунку 4.4.



а - картер;

б - клапанна кришка

Рисунок 4.4 - Залежність відкладень осадів на поверхнях двигуна Д-245.12

від їх температур. Нагаровідкладення на вказаних поверхнях деталей оцінювалися в залежності від їх температур, для вимірювання яких були змонтовані термомпари (приварені конденсаторним зварюванням): на поверхнях картера по 5 штук у кожного двигуна, на поверхнях клапанних кришок по 3 штуки.

Як випливає із залежностей, наведених на малюнку 4., при підвищенні температури поверхонь деталей двигунів осадотворення на них зменшується.

внаслідок зменшення вмісту води в олії, що не суперечить результатам раніше проведених експериментів іншими дослідниками. У всіх двигунах осадотворення на поверхнях деталей картера виявилось більшим, ніж на поверхнях клапанних кришок.

Отримані результати щодо взаємозв'язку зміни температур основних деталей двигунів Д-245.12 (поршнів, циліндрів, клапанних кришок та масляних картерів) та кількості відкладень дозволили виявити закономірності процесів утворення нагарів, лаків та опадів на поверхнях зазначених деталей.

Для цього результати апроксимовані функціональними залежностями методом найменших квадратів та представлені на рис. 4.2 – 4.4.

Двигун працює з найбільшою ефективністю лише за певних умов. Оптимальний температурний режим тепло навантажених деталей є однією з таких умов і забезпечує високі технічні характеристики двигуна з одночасним зниженням зношування, відкладень і, отже, підвищенням показників його надійності.

Оптимальний тепловий стан двигуна характеризується оптимальними температурами поверхонь його тепло навантажених деталей. Аналізуючи проведені дослідження процесів утворення відкладень на деталях досліджуваних двигунів, можна з достатнім ступенем точності визначити інтервали оптимальних та небезпечних температур поверхонь деталей цього класу двигунів. Отримана інформація подана у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 — Оптимальні та небезпечні інтервали температур поверхонь деталей двигунів Д-245.12

№ п/п	Найменування деталей та вузлів двигуна	Небезпечна низькотемпературна зона, °С	Інтервал оптимальних температур, °С	Небезпечна високотемпературна зона, °С
1	Днище поршня, головка циліндра	до 130	140 - 300	понад 310
2	Зона поршневого кілець	до 70	80 - 220	понад 230

3	Спідниця поршня, дзеркало циліндра	до 60	70 - 190	понад 200
4	Картер, клапанна коробка	до 40	50 - 140	понад 150

При температурах деталей у небезпечній високотемпературній зоні, суттєво збільшується твердість нагару на деталях камери згоряння циліндра, що викликає процеси утворення лаків відкладень на поверхні поршнів і циліндрів і призводить до порушення нормального теплового балансу.

Температурне поле поршня двигуна Д-245.12 з урахуванням відкладів нагарів та лаків на його поверхнях представлено на рис 4.5.

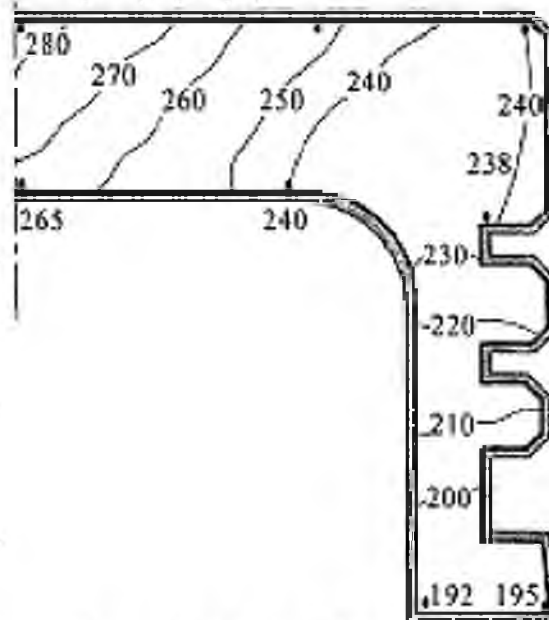


Рисунок 4.5 - Поле температур поршня двигуна Д-245.12 з нагарами та лаками

Експерименти по теплопровідності методом кінцевих елементів проводилися шляхом термометрування поршня на режимі номінальної потужності при стендових виробуваннях двигуна. Термоелектричні експерименти проводилися з тим самим поршнем, для якого попередньо виконано дослідження температурного стану без урахування відкладень.

Експерименти здійснювалися за ідентичних умов. Попередньо двигун працював на стенді понад 80 годин, після чого наступала стабілізація нагарів і лаків. В результаті температура в центрі днища поршня підвищилася на 24 °С,

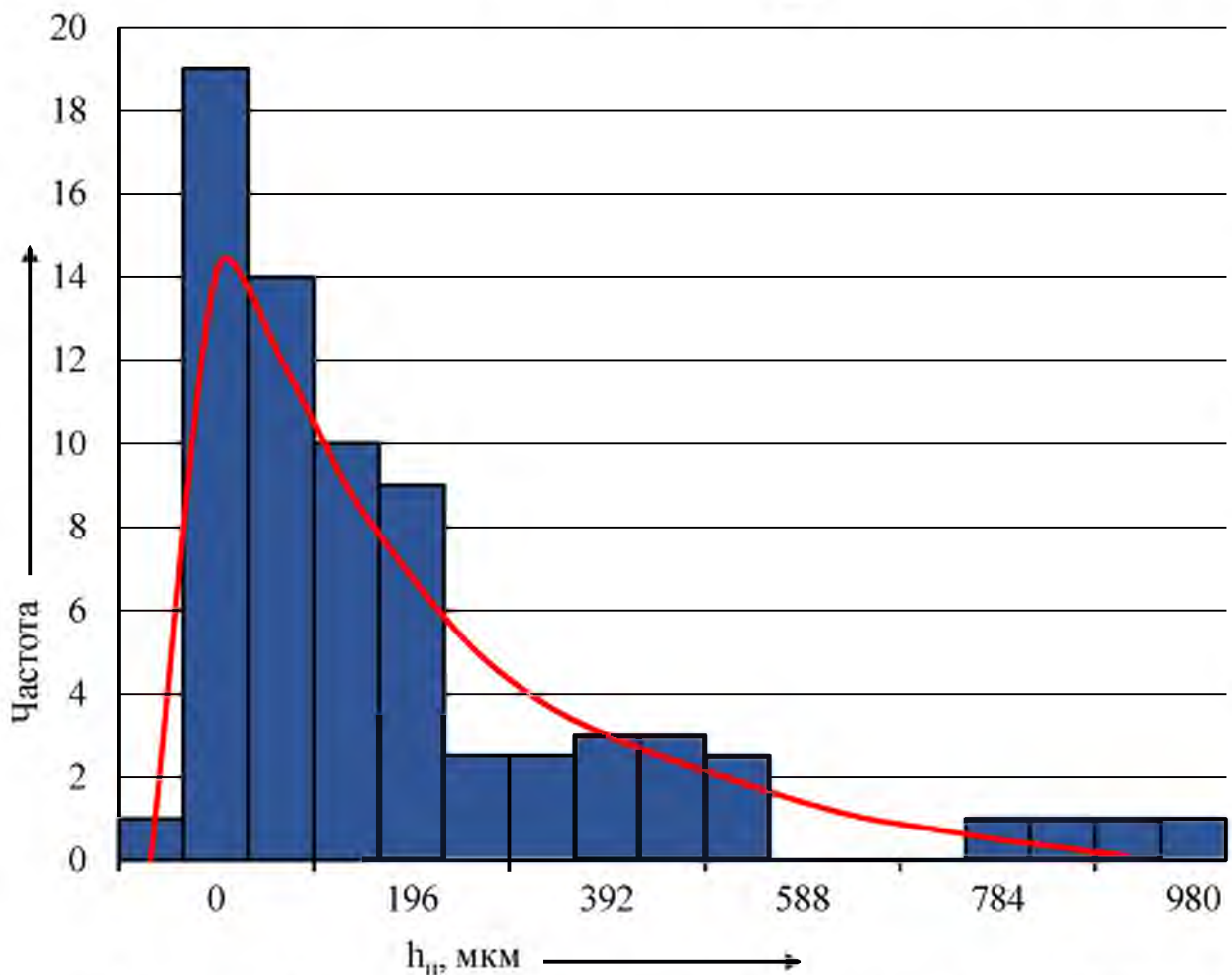


у зоні канавки верхнього компресійного кільця — на  $26^{\circ}\text{C}$  порівняно з моделлю поршня без урахування відкладень. Значення температури поверхні поршня над верхнім компресійним кільцем  $238^{\circ}\text{C}$  входить у небезпечну високотемпературну зону (таблиця 4.3). Близько небезпечної високотемпературної зони і значення температури в центрі днища поршня.

Відповідно до п. 3.2 методики експериментальних досліджень за результатами обробки статистичних даних побудовано гістограми, щільність розподілу товщини нагару за окремими групами поршнів з урахуванням середнього значення на кожній ділянці. Встановлено, що розподіл щільності

товщини підпорядковується закону  $\chi^2$  розподілу. На рисунку 4.6 наведено гістограму і густину розподілу товщини нагару для першої групи поршнів.

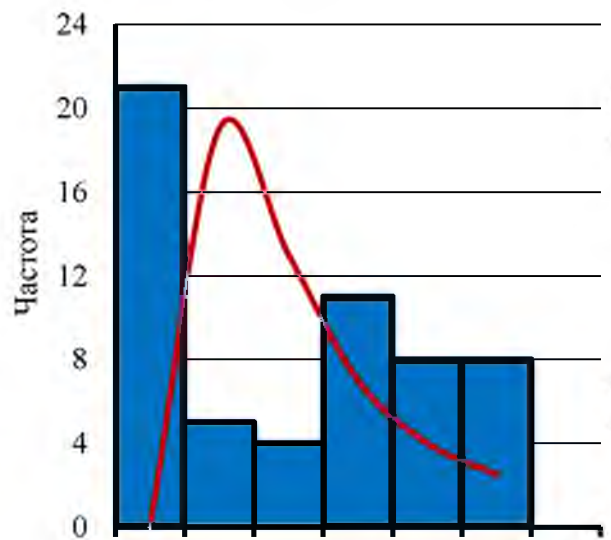
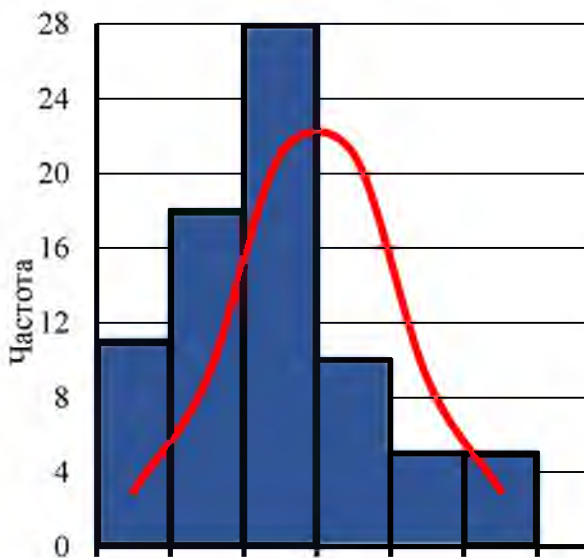
Рисунок 4.6 - Гістограма та щільність розподілу товщини нагару для



першої групи поршнів

За результатами обробки статистичних даних визначено ділянки, у яких товщина нагару має максимальне значення. Так, для першої групи поршнів максимальне значення товщини нагару знаходиться на 19 ділянках і становить від 65,3 до 130,7 мкм, для другої групи відповідно у 39 зонах до 93,3 мкм, для третьої групи в 23 зонах від 66,7 до 132,3 мкм для четвертої групи від 122,7 до 184 мкм, для п'ятої групи в 16 зонах в інтервалі від 93,3 до 140 мкм і для шостої групи в 16 зонах від 86,7 до 173,3 мкм.

Аналогічно результатів дослідження товщини нагару побудовано гістограми та щільність розподілу твердості нагару. Встановлено, що розподіл твердості нагару для двох груп поршнів підпорядковується закону нормального розподілу (рисунк 4.7 а), і закону Стюдента для решти чотирьох груп поршнів (рисунк 4.7 б).



Твердість

Твердість

а - п'ята група поршнів

б - перша група поршнів

Рисунок 4.7 - Гістограма і щільність розподілу твердості нагару на поршнях

Визначено, що для першої групи поршнів максимальне значення густини розподілу твердості нагару знаходиться на 33 ділянках і становить від -2,1 до -0,9 в одиницях, визначених методикою, для другої відповідно в 26,1

становить 0,9...1,9 для третьої групи — 26 від 0,9 до 1,9, для четвертої — 31 від 1,6 до 3,2, для п'ятої — 28 від 0,9 до 1,9 і для шостої — 23 від 0,9 до 0,3.

За результатами отриманих даних визначено ділянки на поверхні поршня, де поєднання товщини та твердості нагару мають максимальне значення. Встановлено, що максимальне значення щільності розподілу товщини і твердості нагару на всіх досліджених поршнях не залежить від напрацювання дизеля і зосереджені на ділянках g, і - 8-9 (рисунк 3.3). Зона поршня, до якої входять ці ділянки, позначена контрольною. При проведенні експериментальних досліджень з очищення поршня замір параметрів нагару пропонується проводити у встановленій контрольній зоні.

Для підтвердження достовірності одержаних результатів визначено відносне відхилення товщини нагару у контрольних зонах усіх поршнів. За результатами розрахунку абсолютне відхилення товщини нагару становило 5,88 мкм, а відносне відхилення — 4,53 %. Отримані результати відносного відхилення товщини нагару в контрольній зоні всіх поршнів підтверджують дані щодо стабілізації товщини нагару при напрацюванні дизеля понад 960 мото-год. Отже, обрані поршні з напрацюванням, зазначеним у п. 3.2, можуть бути використані при проведенні експериментальних досліджень з безрозбірною очищення деталей двигунів від нагару на різних швидкісних режимах роботи двигуна на холостому ході з різною кількістю води, що подається на впуску в циліндри дизелі.

#### **4.3. Результати дослідження подачі оптимальної кількості води у впускний повітряний патрубок**

Подача води до впускного повітряного патрубка здійснювалася парогенератором (рисунк 3.1) у кількості з 0,2 у частках від циклової подачі палива з інтервалом 0,2  $q_{н}$ . При кожній подачі води на впуску тривалість роботи дизеля становила 45 хв. Через кожні 15 хв проводилися вимірювання



витрат палива та води, частоти обертання дизеля, а також бралися проби моторної олії.

За результатами проведених досліджень побудовано криві зміни частоти обертання дизеля та циклової подачі палива в залежності від кількості води, що подається на впуск (рисунок 4.8), а також представлені дані щодо наявності або відсутності води в моторній оливі (МО).

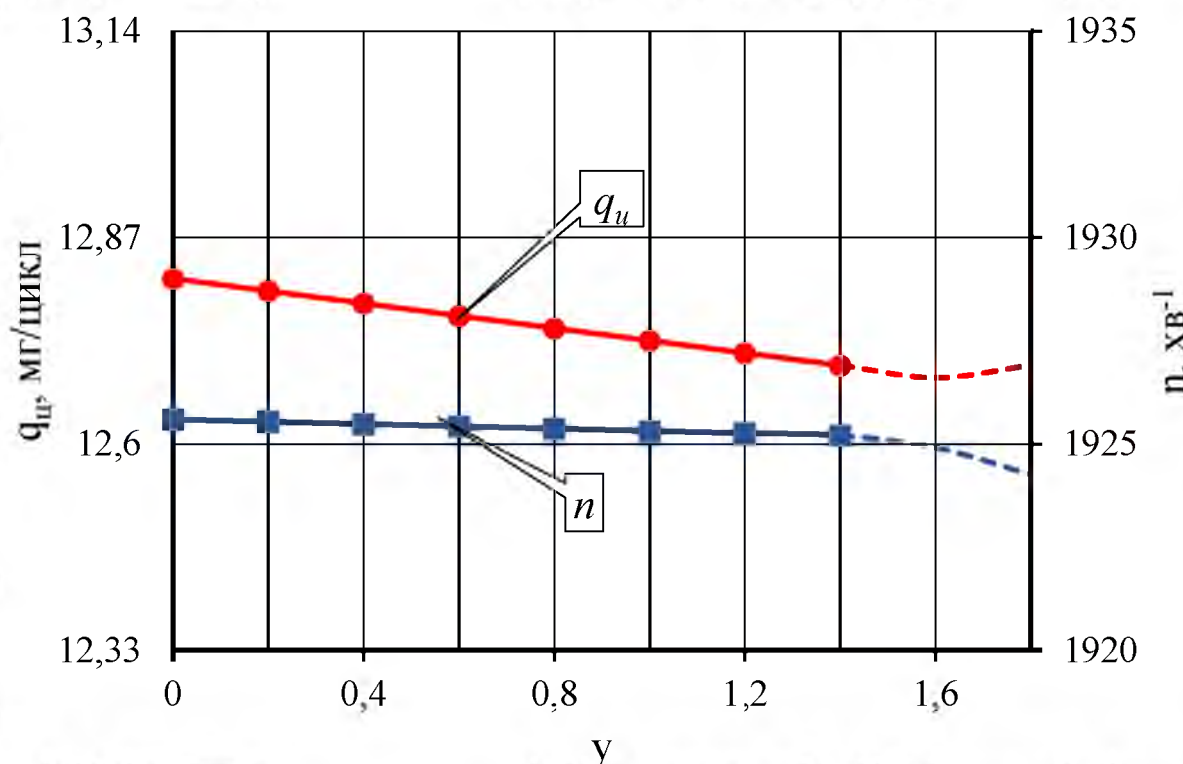


Рисунок 4.8 - Зміна частоти обертання дизеля та циклової подачі палива в залежності від кількості води на впуску

З аналізу отриманих результатів випливає, що при подачі води на впуск від 0,2 до 1,2  $q_u$  води в МО не виявлено. При подачі води 1,3  $q_u$  частота обертання та циклова подача палива практично не змінилися, їх зміна перебуває у межах похибки вимірів. При подачі води 1,4  $q_u$  після 15 хв роботи дизеля в пробі олії виявлено сліди води, а зміна частоти обертання та циклової подачі палива знаходиться в межах помилки вимірювань. Тому максимальну кількість дизеля, що подається в циліндр, води передбачається обмежити по потраплянню води в моторне масло. Оскільки попадання води в МО може призвести до несправностей дизеля, подача води більше 1,4  $q_u$  не

досліджувалася. Продовження кривих частот обертання та низької подачі палива (рисунок 4.8), показане пунктирними лініями, є передбачуваною зміною показників. За результатами цих досліджень випливає, що при подачі води на впуск для очищення деталей двигунів від нагаровідкладень кількість

води не рекомендується більше ніж  $1,2 q_{ц}$  у частках від циклової подачі палива.

На підставі теоретичних досліджень (розділ 2), при подачі води на впуск в циліндри дизеля є умови переходу води з рідкого стану в газоподібний на поверхні нагару, що відповідно до робочої гіпотези передбачає руйнування нагару.

Під час проведення досліджень з об'рунтування режимів та тривалості очищення деталей водяною парою використовувалися двигуни з напрацюванням від 1200 до 1700 мото-год.

Контроль за зміною товщини нагару здійснюється через кожних 10 хв роботи дизеля. На кожному швидкісному режимі холостого ходу і при кожній подачі води визначався час роботи дизеля до очищення нагару на поршнях в контрольній зоні (КЗ). На рисунку 4.9 представлені залежності зміни товщини нагару в КЗ поршня від часу очищення деяких швидкісних режимах холостого ходу і різних подачах води на впуск.

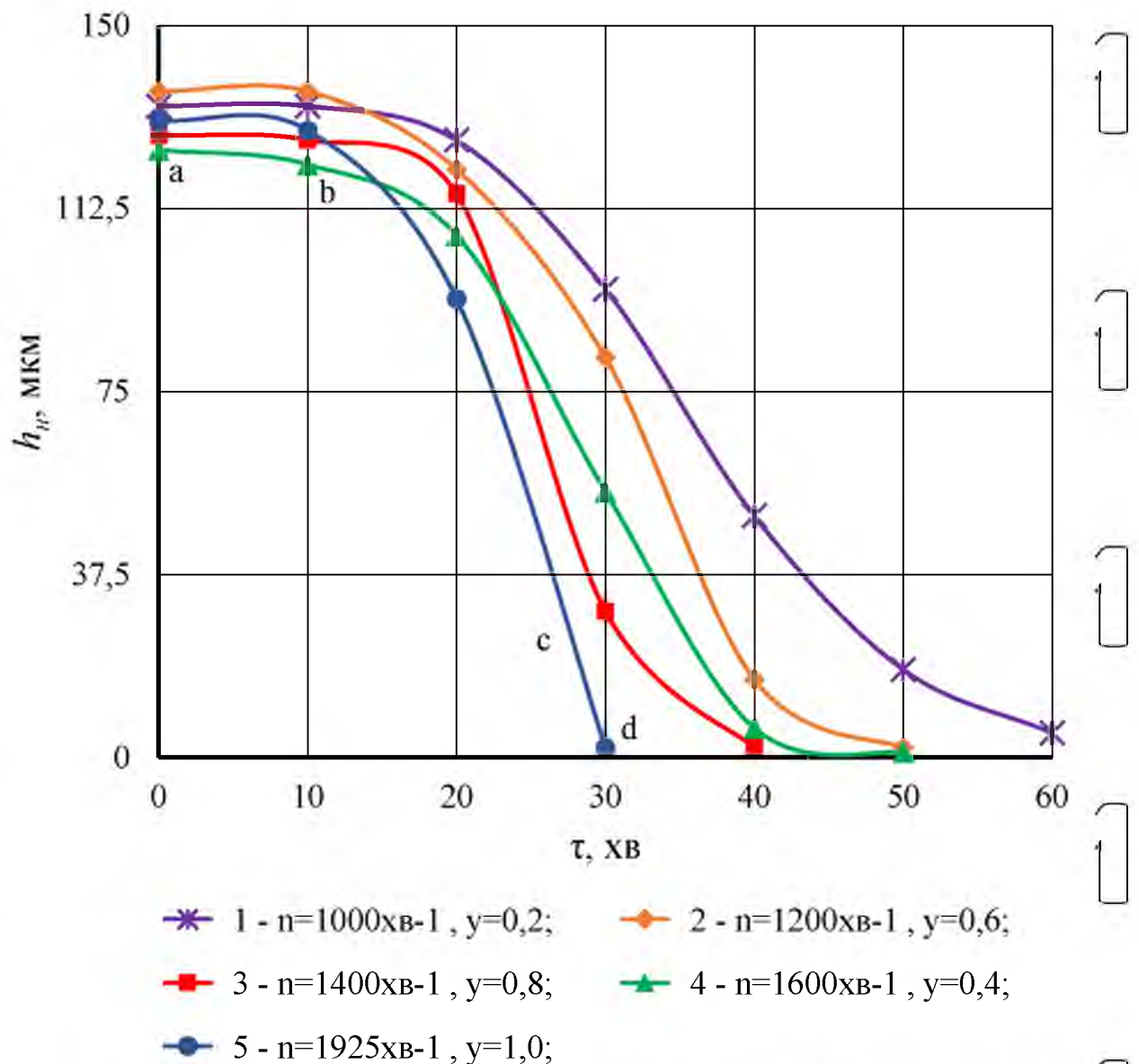


Рисунок 4.9 – Зміни товщини нагару в залежності від часу очищення.

З аналізу отриманих залежностей встановлено, що характер зміни товщини нагару в залежності від часу для кожного варіанта однаковий. На початку очищення інтенсивність очищення незначна (ділянка «a – b» крива 5). У процесі подальшого очищення товщина нагару різко зменшується (ділянка «c – d»). На нашу думку, характер зміни товщини нагару від часу очищення відбувається тому, що на першій ділянці кривої нагару стає пористим, пухким, хоча товщина його міняється незначно.

На деяких ділянках поршня спостерігалися зони повного очищення нагару. На ділянці «b – c» відбувається інтенсивне видалення розпушеного



нагару з поверхонь деталей. Остаточне очищення відбувається на лінії «с - d» (рисунок 4.10, б).



а

б

а – неочищений поршень; б - поршень після 30 хвилин очищення;

**Рисунок 4.10** Характер зміни нагаровідкладень при очищенні поршнів

Встановлено, що в залежності від швидкісного режиму холостого ходу дизеля і кількості води, що подається на впуск, тривалість роботи дизеля до повного очищення не однакова, так при частоті обертання  $1925 \text{ хв}^{-1}$  і подачі води на  $1,0 q_n$  тривалість роботи дизеля до повного очищення поршня не перевищує 30 хв, при цьому спостерігалось очищення розпилювачів (рисунок 4.11).

При частоті обертання  $1600 \text{ хв}^{-1}$  і подачі води  $0,4 q_n$  тривалість очищення склала 50 хв, при частоті обертання  $1000 \text{ хв}^{-1}$  і подачі води  $0,2 q_n$  за 60 хв роботи дизеля нагар повністю не очистився, залишкова товщина у контрольній зоні становила 28,3 мкм.





а – розпилювач до очищення; б – розпилювач після очищення безрозбірним методом

Рисунок 4.11 – Розпилювачі паливних форсунок дизелів

Ефективність очищення нагару на кожному швидкісному режимі та різних подачах води на впуску пропонується оцінювати швидкістю очищення. Швидкість очищення визначалася як відношення початкової товщини нагару до  $K_3$  до часу  $t$  повного очищення.

#### 4.4. Висновки за результатами експериментальних досліджень

За результатами експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Експериментально встановлено, що при роботі дизеля на емульгованому паливі ефективний ККД дизеля (ефективність процесу згоряння) підвищився з 0,386 до 0,402, а димність ВГ знизилася з 28,0 до 18%, що пояснюється поліпшенням якості процесу сумішоутворення за рахунок виникнення «мікро-ударів».

2. Виявлено, що при підвищенні температури на рівні від 100 до 300°C твердість нагару підвищилася з 0,5 до 4,5 балів. Встановлено, що максимальні значення товщини (130 мкм) та твердості (3 бали) нагару

спостерігаються у двигунів з напрацюванням 960...1000 мото-год., що передбачає проведення профілактичного очищення двигунів від нагаровідкладень при ТО-2.

3. Встановлено, що очищення двигуна від нагаровідкладень доцільно проводити при подачі води в кількості 0,6 у частках від циклової подачі палива на максимальній частоті холостого ходу протягом 30 хв.

4. Отримані результати експериментальних і виробничих випробувань технології безрозбірного очищення двигунів свідчать, що збільшення середнього значення компресії за циліндрами двигуна на 11 % та

потужності двигуна на 19%, а зниження питомої витрати палива на 10% та димності відпрацьованих газів на 16% є результатом видалення нагаровідкладень у двигунах.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

НУБІП України

1. Наявність відкладень на деталях двигуна негативно впливає на техніко-економічні показники його роботи. Встановлено, що при досягненні граничної товщини нагаровідкладень ефективна потужність дизеля знімається, а питома витрата палива та димність відпрацьованих газів підвищуються і при цьому деталі двигуна працюють в умовах підвищених термічної напруги.

НУБІП України

2. Теоретично обґрунтовано, що руйнування нагаровідкладень при роботі двигуна на водопаливній емульсії відбувається за рахунок явища «мікро-удару» крапель емульгованого палива, швидкість випаровування яких залежить від їх діаметра, тиску та амплітуди газового середовища.

НУБІП України

3. Експериментально встановлено, що при роботі дизеля на емульгованому паливі ефективний ККД дизеля (ефективність процесу згоряння) підвищився з 0,386 до 0,402, а димність ВГ знизилася з 28,0 до 18%, що пояснюється поліпшенням якості процесу сумішоутворення за рахунок виникнення «мікро-ударів».

НУБІП України

4. Виявлено, що за підвищення температури на поршнях від 100 до 300°C твердість нагару підвищилася з 0,5 до 4,5 балів. Встановлено, що максимальні значення товщини (130 мкм) та твердості (3 бали) нагару спостерігаються у двигунів з напрацюванням 960...1000 мото-год., що передбачає проведення профілактичного очищення двигунів від нагаровідкладень при ТО-2.

НУБІП України

5. Встановлено, що очищення двигуна від нагаровідкладень доцільно-по-різному проводити при подачі води у кількості 60% від циклової подачі палива на максимальній частоті холостого ходу протягом 30 хв.

НУБІП України

6. Отримані результати експериментальних досліджень технології безрозбірного очищення двигунів свідчать, що збільшення середнього значення компресії по циліндрах двигуна на 11% та потужності двигуна на 10%, а зниження питомої витрати пального на 10% та димності

НУБІП України

відпрацьованих газів на 16% є результатом видалення нагаровідкладень у двигунах.

# НУБІП України

7. Розробленої технології очищення двигунів від нагаровідкладень дозволяє на 20% скоротити трудомісткість процесу. Ефективність витрат становить 3,4 тис. грн/рік за терміну окупності менше року.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Картошкін, А.П. Розробка методу та стенду для прискореної оцінки впливу експлуатаційних факторів на нагароутворення у дизелях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук/А.П. Картошкін. - Л., 1984. - 17 с.
2. Михайлов, Л.К. Вплив теплоізолюючих покриттів на температурний стан поршня та умови теплообміну в циліндрі двигуна [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук/Л.К. Михайлів. - Л., 1969. - 21 с.
3. Картошкін, А.П. Дослідження нагаровідкладень на деталях циліндропоршневої групи при експлуатації дизелів сільськогосподарських тракторів [Текст]: сб. навч. тр. / Л.: ЛСХІ, 1984 - 97 с.
4. Ніколаєнко, А.В. Кількісні характеристики погіршення роботи тракторного дизеля при нагароутворення в циліндрах [Текст] / А.В. Ніколаєнко, А.П. Картошкін, А.І. Проскурін // Двигунобудування. - 1984. - № 8. - С. 45 - 49.
5. Папок, К.К. Нагари, лакові відкладення та опади в автомобільних двигунах [Текст]/К.К. Папок [та ін.]. - М.: Машгіз, 1956. - 256 с.
6. Проскурін, А.І. Дослідження безрозбірного видалення нагару з деталей циліндропоршневої групи двигунів сільськогосподарських тракторів в умовах експлуатації [Текст]: дис. ... канд. техн. наук/А.І. Проскурін. - Л. - Пушкін, 1983. - 158 с.
7. Аршинов, В.Д. Поліпшення теплового стану поршнів дизелів з турбонадувом [Текст]/В.Д. Аршинов [та ін.] // Автомобільна промисловість. - 1983. - № 1. - С. 4 - 5.
8. Меленчук, О.І. Робота дизеля на «обтяженому» паливі [Текст]/О.І. Меленчук, Є.З. Шатров, Д.В. Бойков // Автомобільна промисловість. - 1988. - № 3. - С. 16.
9. Негода, А.В. Високотемпературне динамічне окиснення олії в поршневому двигуні [Текст]/О.В. Негода, В.І. Ворожіхіна, Л.С. Рязанов [та ін.] // Двигунобудування. - 1990. - № 3. - С. 51 - 54.

10. Зуєв, В.П. Про можливість застосування палива «обтяженого» фракційного складу у сучасних дизелях [Текст]: зб. наук. тр. / Л.: ЛСХІ, 1985 - 109 с.

11. Парфьонов, Н.П. Обґрунтування ефективного використання палив «обтяженого» фракційного складу в тракторних дизелях [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук/Н.П. Парфьонов. - Л., 1987. - 17 с.

12. Піменов, Ю.М. Моделювання процесу утворення високотемпературних відкладень у дизелі та оцінка впливу фракційного складу палива на кількість відкладень [Текст] / Ю.М. Піменов, А.С. Сафонов, С.М. Волгін // Двигунобудування. - 1993. - № 12. - С. 22 - 24.

13. Татарніцев, В.А. Розробка технології безрозбірного очищення від нагару розпишувачів форсунок тракторних і комбайнових дизелів з турбо-наддувом [Текст]: дис. канд. техн. наук/ВУ Татарніцева -Л., 1989. -172 с.

14. Григор'єв, М.А. Дослідження абразивних властивостей нагару двигунів [Текст]/М. А. Григор'єв, Б.М. Бунаков, Б.М. Коган, Є.В. Пічугін. - М.: Тертя і знос, 1983. - Том 4. - N. 2. - 439 с.

15. Ніколаєнко, А. В. Підвищення ефективності використання тракторних дизелів у сільському господарстві [Текст] / О. В. Ніколаєнко, В.М. Досить. - Л.: Агропромиздат, Ленінградське відділення 1986. - 411 с.

16. Гладков, О. А. Підвищення ефективності використання водопаливних емульсій у високооборотних дизелях [Текст]/О. А. Гладков, В.В. Данників [та ін] // Двигунобудування. - 1988. - № 7. - С. 19 - 20.

17. Ковпаків, В.Є. Метод прискорених випробувань на нагароутворення профілактика нагаровідкладень у випускних клапанах газорозподільного механізму дизелів сільськогосподарських тракторів [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук/В.Є. Ковпаків. - Л., 1986. - 16 с.

18. Худов, Н.М. Теплонапруженість суднового малооборотного дизеля при використанні водопаливної емульсії [Текст]/Н.М. Худов, Д.В. Желудків, О.Ж. Друцький // Двигунобудування. - 1986. - № 4. - С. 23 - 25.



19. Костін, А. К. Теплонапруженість двигунів внутрішнього згорання [Текст]. / А.К. Костін [та ін]. - Л.: Машинобудування, 1979. - 60 с.

20. Ліханов, Б. А. Зниження токсичності автотракторних дизелів [Текст]. / Б.А. Ліханов, А.М. Сайкін. - М.: ВО Агропромиздат, 1991. - 199 с.

21. Лермон, Є.Ю. Висококонцентровані ВТЕ – ефективний засіб покращення екологічних показників легких бітродієвих дизелів [Текст] / Є.Ю. Лермон, С.Т. Ладков // Двигателесзжхеие.-1986. -N. • 10. -С. 35 -37.

22. Васильєв, Ю.М. Моторне паливо майбутнього [Текст] / Ю. Н. Васильєв. // Автомобільна промисловість. - 2005. - № 1. - С. 30-33.

23. Капа, якою можна зіпсувати олію [Текст] // За кермом. - 2007. - № 11. - С. 12 - 13.

24. Петраков, Г.В. Метод прискореної оцінки миючих властивостей моторних масел [Текст]/Г.В. Петраков, О.А. Никифоров, С.В. Беляєв // Двигун-лебудування. - 1981. - № 8. - С. 47 - 48.

25. Приправа до олії [Текст] // За кермом. - 2006. - №3. - С. 53 - 54.

26. Башкатов, С.Т. Перспективи використання депресорної присадки ПДП у дизель [Текст]/С.Т. Башкатов, В.М. Російський [та ін] // Хімія та технологія палив та масел. - 1993. - № 9. - С. 33 - 34.

27. Чкалов, В.А. Вплив трибохімічних відновників на показники якості моторного масла [Текст] / В.А. Чкалов, І.М. Беляєв // Пост. дійств. НТС країн СНД. - С-П., 1994 - С. 25 - 26.

28. Балабанов, В.І. Безрозбірне відновлення з'єднань, що труться [Текст] / В.І. Балабанів. - Наукове видання. - М. МДАУ, 1999. - 72 с.

29. Балабанов, В.І. Тертя, знос, мастило та самоорганізація в машинах [Текст] / В.І. Балабанов, В.І. Беклемишев, І.І. Махонін. - Посібник для автомобілістів. - М.: Изумруд, 2004. - 192 с.

30. Балабанов, В.І. Основи прикладної нанотехнології [Текст]/В.І. Балабанов, А.А. Абрамян [та ін]. - М.: МАГНІСТР-ПРЕС, 2007. - 208 с.

31. «Аспект» - здоров'я автомобіля та ваш спокій [Текст]// За кермом.

- 2006, - № 1. - С. 111, 2006 - № 2. - С. 3, 2006 - № 3. - С. 94.

32. Ось такий «Аспект» [Текст]// За кермом. - 2005. - № 5. - С. 53 - 54.

33. Ніколаєнко, А.В. Наукові засади шляхів підвищення експлуатаційної надійності енергетичних установок мобільних сільгоспагрегатів у зв'язку з характером перебігу робочого процесу [Текст]: дис. ... докт. техн. наук/А.В. Ніколаєнко. - Л., 1973. - 385 с.

34. Спосіб очищення розпилювача форсунки. А.С. N 652338 / Н.С.

Жданівський, А.В. Ніколаєнко, Б.Л. Зуєв. - Оpubл. у Б.І. - № 10, 1979.

35. Бережан, С.Л. Хімічна технологія очищення деталей двигунів внутрішнього згоряння [Текст]/С.Л. Бережани. - М.: Транспорт, 1967. - 268 с.

36. Вікторов, В.П. Безрозбірне очищення деталей судових дизелів за допомогою емульгованого палива [Текст]: тези доповідей навч.-техн. сім. / Л.-Душкін, 1990. - С. 43-44.

37. Петров, В.П. Поліпшення показників роботи дизеля КамАЗ - 740 при роботі на різних паливах шляхом безрозбірного видалення нагару з деталей камери згоряння (Текст): автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. П.

Петров. - 17 с.

38. Аїсімов, В.В. Методика оцінки процесу згоряння водопаливної емульсії у дизелі [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук/В.В. Аїсімов. -

Київ, 1993. - 15 с.

39. Ворісєєв, Ю.І. Застосування водопаливних емульсій у судових дизелях [Текст]/Ю.І. Ворісєєв // Двигунобудування. - 1986 - № 12. - С. 30-35.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП **ДОДАТКИ** України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України