

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.372-027.45

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту ім. М.П.Момотенка

НУБІП України

Вячеслав БРАТШКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Іван ВОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

«___» _____ 2023 р.

«___» _____ 2023 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Удосконалення експрес-діагностування олив автомобіля в умовах експлуатації ТОВ «Агрофірма Березанська»»

НУБІП України

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код / назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

НУБІП України

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Валерій ВОЙТЮК

(ім'я, прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Валерій ЩЕНКО

(ім'я, прізвище)

НУБІП України

Виконав:

(підпис)

Володимир ПОРКОНЯК

(ім'я, прізвище)

КИЇВ – 2023

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П.Момотенка

д.т.н., проф. Іван РОГОВСЬКИЙ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я, прізвище)

« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Володимиру Михайловичу Торконяку
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Удосконалення експрес-діагностування оливи автомобіля в умовах експлуатації ТОВ «Агрофірма Бережанська»

затверджена наказом ректора НУБІП України від «30» грудня 2022 р. № 1944 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах з експрес-діагностування оливи автомобіля в умовах експлуатації ТОВ «Агрофірма Бережанська

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз стану питання досліджень, мета, задачі дослідження
2. Теоретичне вивчення впливу параметрів експрес-діагностування оливи автомобіля в умовах експлуатації ТОВ «Агрофірма Бережанська»
3. Методика розрахунку алгоритму визначення алгоритму експрес-діагностування оливи автомобіля в умовах експлуатації ТОВ «Агрофірма Бережанська»
4. Результати експериментальних досліджень експрес-діагностування оливи автомобіля в умовах експлуатації ТОВ «Агрофірма Бережанська»

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 14 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Валерій ЩЕНКО

(ім'я прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Володимир ТОРКОНЯК

(ім'я прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОЛИВ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛІВ	8
1.1 Етапи розвитку мастильних систем автомобільних дизелів	7
1.2 Аналіз використовуваних мастильних систем	13
1.2.1 Мастильна система дизеля КАМАЗ -740	13
1.2.2 Мастильна система дизелів КАМАЗ -Євро-2, 3	16
1.3 Аналіз закономірностей старіння оливи в процесі експлуатації	19
1.4 Методи визначення нормативів профілактики мастильної системи двигуна ..	31
1.5 Висновки по розділу	33
2 АНАЛІТИЧНА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ОЛИВИ В КАРТЕР НА НАДІЙНІСТЬ ДВИГУНА	36
2.1 Сутність механічних втрат і їх розмір, процеси тертя, машення та зношування в вузлах двигунів	36
2.2 Призначення добавок до моторних мастил	43
2.3 Вплив рівня оливи в картері на об'єм мастильного матеріалу і тепловий режим	47
2.4 Аналітичне дослідження режиму оливоного голодування вузлів двигуна	51
2.5 Аналітичне дослідження режиму спінювання оливи в картері	53
2.6 Вплив режиму доливання оливи на ефективність профілактики системи мащення двигуна	57
2.7 Висновки по розділу	62

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	64
3.1 Програма та загальна методика роботи	64
3.2 Методика аналітичного дослідження.....	66
3.3 Технічна база досліджень і методи визначення показників.....	66
3.4 Методика експериментального дослідження.....	72
3.5 Висновки до розділу	74
4. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА	76
4.1 Залежності показників стану оливи від напрацювання.....	76
4.2 Вплив об'єму доливання оливи на періодичність його заміни і надійність двигуна.....	80
4.3 Висновок по розділу	81
5 ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ.....	84
5.1 Аналіз системи мащення двигунів КАМАЗ - 740 і КАМАЗ-ЄВРО.....	84
5.2 Практичні рекомендації з регулювання рівня оливи в картері двигуна	87
5.3 Техніко-економічна оцінка ефективності роботи	91
5.4 Висновки по розділу	92
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУБІП УКРАЇНИ

Одним із шляхів підвищення ефективності експлуатації автомобілів є вдосконалення системи ТО і Р для забезпечення і збереження в експлуатації необхідних показників надійності і зниження витрат на підтримку працездатності двигунів.

НУБІП УКРАЇНИ

Постійне зростання вимог до підвищення ефективності експлуатації автомобілів веде до інтенсифікації форсування двигунів, що, в свою чергу, є причиною підвищення термонапруги деталей, погіршення умов роботи моторної оливи, збільшення його чаду, прискорення спрацьовування присадок, підвищення інтенсивності зношування тертьових пар, лако- і нагароутворення, що веде до зниження ресурсу двигуна.

НУБІП УКРАЇНИ

Працездатність двигунів багато в чому залежить від правильного функціонування системи мащення або її функціонального стану. Під функціональним станом розуміється стан системи, при якому вона здатна виконувати свою основну функцію - мінімізувати зношування сполучених деталей за рахунок нормалізації режимів тертя між ними, а також виключати термічні деформації найбільш навантажених елементів шляхом відводу від них надлишкового тепла.

НУБІП УКРАЇНИ

Підтримання необхідного рівня оливи в картері двигуна покликане забезпечувати необхідний температурний режим деталей двигуна, винос продуктів зносу з пар тертя, а також оптимальні умови мащення за рахунок присутнього в оливі присадок.

НУБІП УКРАЇНИ

В експлуатації відбувається зменшення об'єму оливи в картері з-за витоків і чаду, а також зміна його властивостей внаслідок старіння. Це призводить до порушення функціонального стану системи мащення, підвищенню температури оливи, порушення нормального режиму змащення і інтенсифікації зношування деталей.

НУБІП УКРАЇНИ

Виконання періодичної профілактики системи мащення (наприклад, долив оливи до необхідного рівня) дозволяє відновлювати її функціональний стан,

НУБІП УКРАЇНИ

знизити температуру оливи, оновити присадки, що, в цілому, підвищить ресурс двигуна.

Однак, в даний час недостатньо науково обґрунтовані параметри режиму доливання (періодичність та об'єм) моторної оливи у форсованих автомобільних дизельних двигунах, значна кількість таких двигунів тривало експлуатується з не раціональним об'ємом оливи, що призводить до скорочення ресурсу.

Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення ефективності експлуатації форсованих автомобільних двигунів за рахунок підтримки функціонального стану системи мащення в експлуатації, є актуальними.

Об'єкт дослідження – процеси зміни технічного стану деталей і параметрів системи мащення автомобільних двигунів в експлуатації.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників моторної оливи в процесі експлуатації форсованих двигунів КАМАЗ -Євро.

Метою роботи є зниження експлуатаційних витрат автомобільних форсованих дизельних двигунів за рахунок зменшення інтенсивності погіршення технічного стану деталей і старіння оливи на основі підтримки функціонального стану системи мащення шляхом регулювання об'єму оливи в картері.

Положення наукової новизни, які виносяться на захист:

1) математична модель старіння моторної оливи в експлуатації, відрізняється урахуванням його об'єму в картері двигуна, що дозволяє підвищувати його напрацювання до заміни оливи;

2) математична модель зміни технічного стану циліндро-поршневої групи і підшипників колінчастого валу двигуна, з урахуванням об'єму оливи в картері двигуна, що дозволяє підвищувати ресурс двигуна,

3) параметри залежності показників технічного стану двигуна і оливи від об'єму доливної оливи, уточнюючі і дозволяють визначати ресурс двигуна і наробітку до заміни оливи;

4) параметри режиму підтримки функціонального стану системи мащення форсованих двигунів КАМАЗ -Євро в експлуатації, що відрізняються періодичністю і об'ємом доливання оливи, що дозволяють виключити екстремальні режими змащування.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані на основі теорії технічної експлуатації автомобілів, теорії двигунів внутрішнього згорання, законів теплотехніки, основних положень гідравліки, хімічної кінетики. Експериментальні дослідження виконанні з використанням сучасних методик і відповідного обладнання.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОЛИВ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛІВ

1.1 Етапи розвитку мастильних систем автомобільних дизелів

Умови мащення ще більш погіршуються при підвищенні жорсткості роботи дизелів і, відповідно, навантаження на деталі.

Сучасні форсовані автомобільні двигуни мають, як правило, V-подібне розташування циліндрів, що підвищує навантаження на шатунні підшипники.

Форсування двигунів супроводжується поліпшенням їх масових і габаритних показників. Разом з тим значно збільшується величина потужності двигуна в розрахунку на одиницю об'єму оливи в картері, що веде до зростання температури оливи в картері і збільшення витрати оливи на чад.

При форсуванні також відбувається збільшення тиску оливи в підшипниках кінцевого валу в два рази, в сполученні « кільце - гільза » до трьох разів, температура у верхній поршневої канавці досягає 280 °С, шатунних вкладишів - 160 °С, підшипника турбокомпресора - 280 - 320 °С [26-28, 59, 154]. Все це істотно погіршує умови роботи оливи - знижується його ресурс через більш швидкого спрацьовування присадок, підвищується витрата оливи на чад, утворюються лако і нагаро-відкладення на поверхнях деталей, а потрапляння твердих частинок нагару в пари тертя веде до підвищеного зношування деталей. Як видно з вищевикладеного, умови роботи оливи роблять значний вплив на надійність роботи двигуна.

Найбільш ефективними методами забезпечення надійної роботи таких високофорсованих двигунів є:

- застосування сучасних високоякісних моторних оливи;
- введення додаткового охолодження оливи;
- внесення змін до конструкції двигунів;
- поліпшення вентиляції картера;

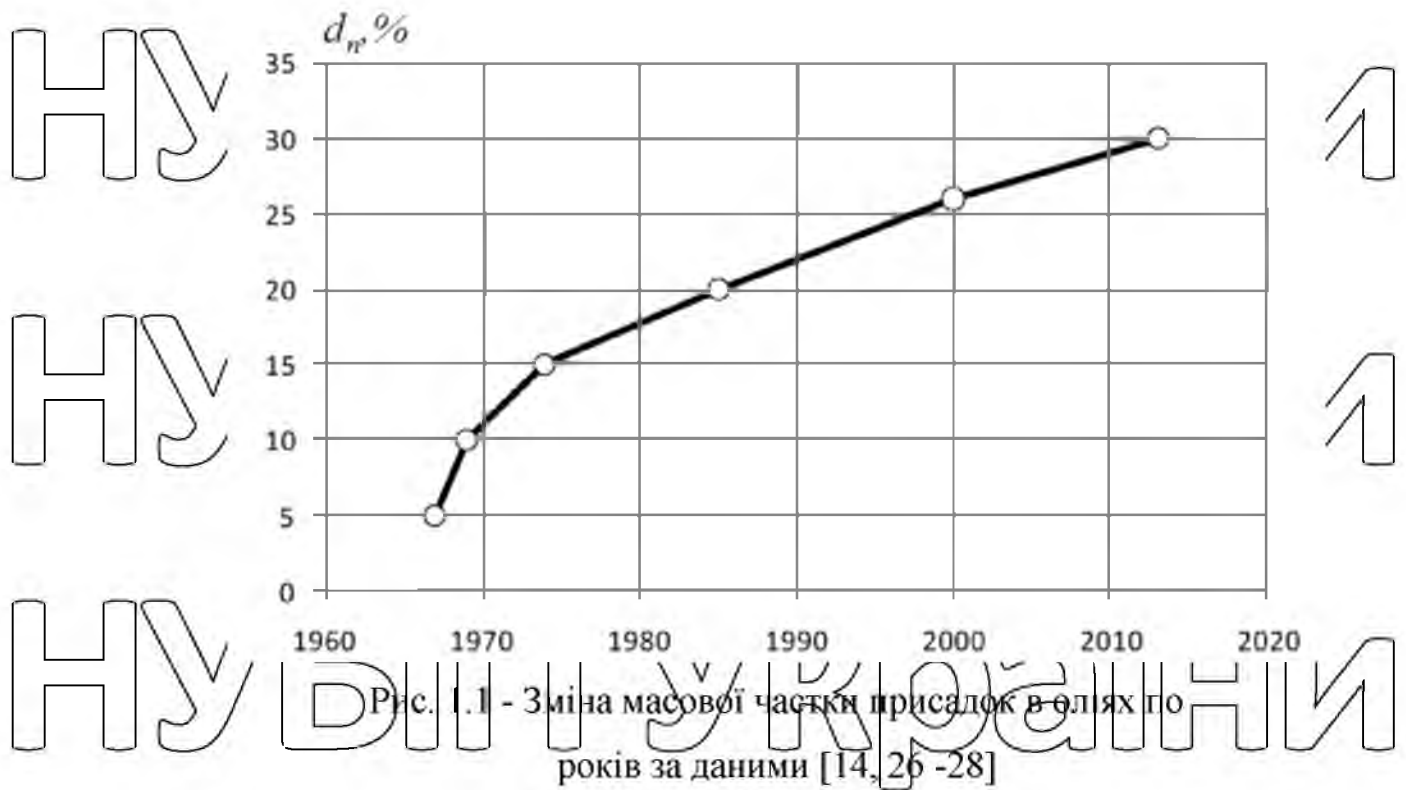
Досвід експлуатації автомобільного транспорту показує, що знос деталей транспортних засобів є причиною понад 50% усіх відмов в автомобілі [59, 103]. Для двигунів внутрішнього згоряння характерні відмови, пов'язані із зносом, перш за все, поршневих кілець і гільз циліндрів, шатунних і корінних шийок колінчастого валу, вкладишів, а найчастіше в двигунах відбувається задір цих пар тертя.

Нині інтенсивно розвиваються такі напрямки досліджень, як трибологія наука про тертя і зношування, і триботехніка їх застосування у вузлах машин. Розвивається молекулярно-механічна теорія тертя і стала теорія зношування, контактено-гідродинамічна теорія змащення твердих тіл. Результати розвитку даних напрямків дозволяють на стадії проектування оцінювати і прогнозувати довговічність вузлів тертя.

Сучасною тенденцією розвитку двигунобудування є підвищення агрегатної потужності, в основному різними способами форсування. Одним з найбільш ефективних і поширених способів форсування є піддув повітря в циліндри двигуна, що дозволяє підвищити потужність в два - три рази і знизити питомі витрати палива. Наслідком цього є підвищення механічної і теплової напруженості деталей двигуна. Тому підвищення частоти обертання колінчастого валу обмежується зростанням інерційних навантажень на деталі і застосування більш досконалої очищення оливи та ін.

Нині асортимент мастильних матеріалів постійно і бурхливо розширюється. Значних успіхів досягнуто у виробництві нових присадок до мастил, масова частка яких в оліях неухильно зростає, що дозволило значно підвищити надійність роботи двигунів (рисунок 1.1) [14, 26 -28].

Сучасним напрямком є застосування композицій присадок (пакетів).



Однак, поряд з підвищенням якості оливи, для забезпечення надійності роботи двигуна необхідно також і правильне використання оливи. Необхідно розробляти методи оцінки його працездатності в процесі використання, а також забезпечувати в двигуні якісну очистку оливи від утворюються в ньому і потрапляють ззовні шкідливих речовин.

Аналіз показників ефективності експлуатації вантажних автомобілів дозволив стверджувати, що в структурі собівартості автомобільних перевозок на витрати на ТО і Р доводиться 12-15%. Внаслідок чого на забезпечення працездатності автомобіля за весь термін його служби витрачається в 5-6 разів більше коштів, ніж на виготовлення [59, 60].

За статистичними даними, 22% парка вантажних автомобілів України представлено автомобілями виробництва ПІАТ «КАМАЗ». Дослідженнями надійності автомобілів КАМАЗ встановлено [59, 60], що на силовий агрегат доводиться від 32% до 37% всіх відмов, в числі яких на двигун - від 25% до 30%.

Аналіз структури відмов двигунів в експлуатації показав наявність значної частки

(від 45% до 50%) раптових відмов, як правило, через порушення правил технічної експлуатації, конструктивно-технічних недоробок і виробничих дефектів. А, враховуючи, що до 60% витрат на ремонт доводиться на усунення відмов силових агрегатів, підвищення надійності двигунів дозволить значно збільшити ефективність експлуатації автомобілів КАМАЗ за рахунок зниження витрат на усунення відмов.

У міру індустріальної модернізації своїх автомобілів ПАТ «КАМАЗ» формує і випускає модельний ряд сучасного сімейства форсованих двигунів, які відповідають екологічним стандартам ЄК ООН: EURO - 1, EURO - 2, EURO - 3 і EURO - 4. Наслідками модернізації і значного форсування двигунів «КАМАЗ» в рамках зростаючих і тих, що пред'являються до сучасних двигунів вимог по екологічності, економічності і якості потужності, привели до збільшення потужності більш ніж в 1,5 рази відносно базового двигуна. Разом з тим, не відбулося значних змін розмірів його основних деталей (колінчастий вал, шатун, блок циліндрів і ін.), що вплинуло на зниження довговічності та конкурентоспроможності силового агрегату.

Таблиця 1.1

Основні характеристики двигунів «КАМАЗ»

Найменування параметра, одиниця виміру	Модель двигуна				
	КАМАЗ 740.10	КАМАЗ - 740.11-240	КАМАЗ - 740.13-260	КАМАЗ - 740.30	КАМАЗ - 740.50
Номинальна Потужність, кВт (К.с.)	154 (210)	176 (240)	191 (260)	191 (260)	265 (360)
Тиск оливи в прогрітому двигуні за номінальної частоти обертання колінчастого валу, кПа (кгс / см ²)	195-388 (3,5-4)	392-539 (4-5,5)	392-539 (4-5,5)	392-539 (4-5,5)	392-539 (4-5,5)
Максимальний обертаючий момент, Н м (кгс м)	667 (68)	833 (85)	931 (95)	1079 (110)	1470 (150)
Діаметр циліндра, мм	120	120	120	120	120
Хід поршня, мм	120	120	120	120	130

Одним з найважливіших показників конкурентоспроможності автомобілів є співвідношення витрат на забезпечення працездатності за весь термін експлуатації до витрат на виготовлення. У розвинених країнах це співвідношення становить в середньому 120%, в той час як в Україні це більше 400%, що і обумовлює проблемну ситуацію

Проведемо аналіз конструкції мастильних систем базового двигуна КАМАЗ - 740 і форсованих двигунів КАМАЗ - Євро для виявлення причин у відмінності темпів старіння моторної оливи в експлуатації та обґрунтуванні кількості його доливання для компенсації чаду.

1.2 Аналіз використовуваних мастильних систем

1.2.1 Мастильна система дизеля КАМАЗ-740

Мастильна система (рисунок 1.2.) Двигуна комбінована, з «мокрим» картером [6, 124].

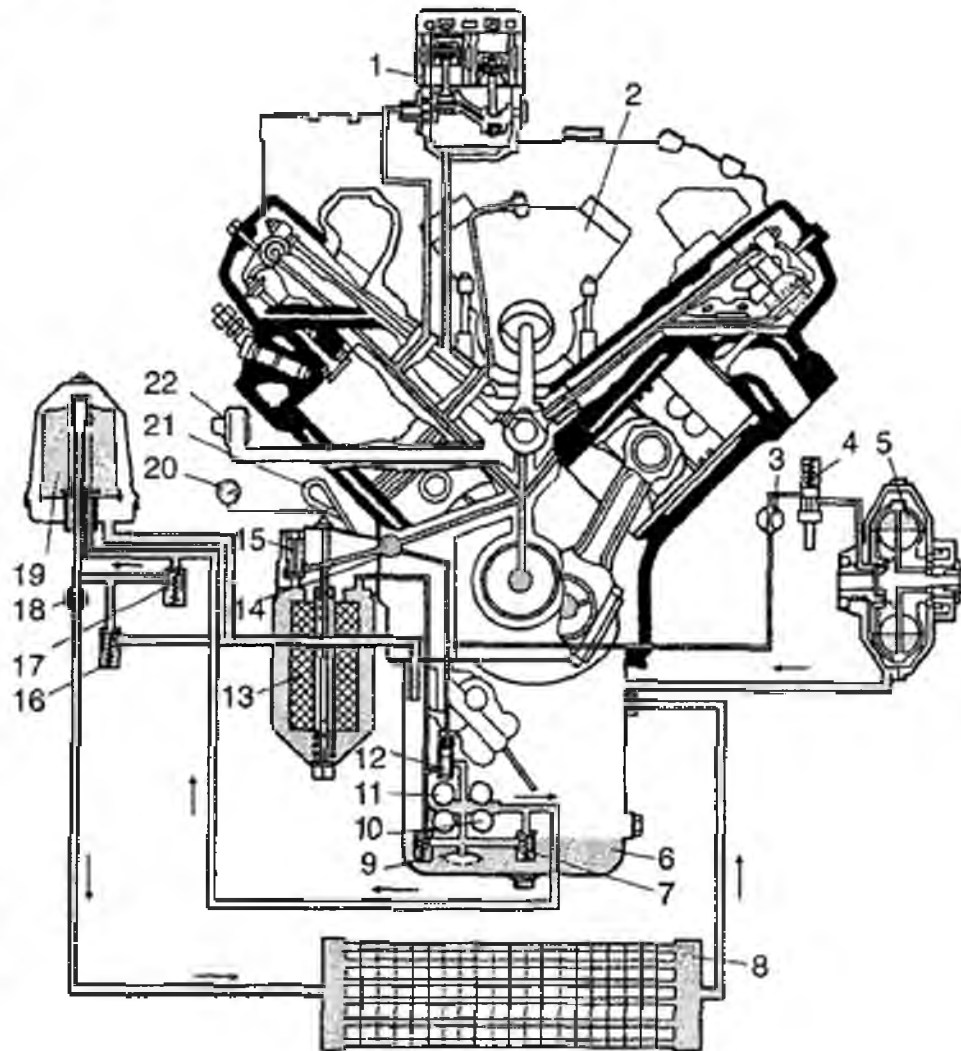


Рис. 1.2

Схема системи мащення дизеля КамАЗ-740:

1 – компресор; 2 – паливний насос високого тиску; 3 – кран умикачкня гідромуфти; 4 – термосиловий датчик; 5 – гідромуфта привода вентилятора; 6 – піддон; 7 – запобіжний клапан радіаторної секції; 8 – оливний радіатор; 9, 12 – відповідно запобіжний та диференціальний клапани; 10, 11 – відповідно радіаторна й напітальна секції оливного насоса; 13 – повнопотоковий фільтр; 14 – головна оливна лінія; 15 – перепусковий кран фільтра; 16 – зливальний кран центрифуги; 17 – обмежувач; 18 – кран; 19 – центрифуга; 20 – манометр; 21 – шуп; 22 – салун

Рис. 1.2 - Схема системи мащення двигуна КАМАЗ -740

В неї входить оливний насос, два фільтри (відцентровий і повнопотоківий), оливний піддон (основна ємність), оливний радіатор, масляні магістралі, в яких передбачені перепускні та запобіжні клапани і манометр.

Олива під тиском подається до корінних і шатунних підшипників колінчастого валу, до втулок коромисел, до підшипників ПНВД і компресора. До верхніх сферичним опорам штанг механізму газорозподілу олива подається пульсуючим струменем, а до решти деталей - розбризкуванням або самопливом.

З піддону олива через оливоприймач засмоктується в секції оливного насоса.

Через канал в правій стінці блоку олива з секції подається в корпус повнопотоківого фільтра, де вона очищається, проходячи через два фільтруючих елемента, і надходить в головну масляну магістраль. З головної масляної магістралі олива по каналах в перегородках блоку підводиться до корінних підшипників колінчастого валу, підшипників розподільного валу, втулок коромисел. До шатунних підшипників колінчастого валу олива подається по каналах в колінчастому валу від найближчої корінній шийки. Олива, що знімається зі стінок циліндра оливознімним кільцем, через отвори в канавці кільця і поршня відводиться всередину поршня і змазує опори поршневого пальця і верхньої головки шатуна.

Каналом в задній стінці блоку і по трубі олива під тиском надходить до підшипників компресора. З каналу в передній стінці блоку передбачений відбір оливи для змащення підшипників паливного насосу високого тиску. З головної масляної магістралі олива під тиском подається до розташованої в передньому торці блоку термосилового датчику і далі, коли включений кран, в гідромумфу.

Олива з радіаторної секції насоса надходить до фільтра відцентрової очистки, потім в радіатор, а з нього в піддон. Коли кран закритий, олива з відцентрового фільтра зливається в піддон двигуна через зливний клапан.

Оливний насос двосекційний, шестерний, продуктивність основної секції 85 л / хв, радіаторної - 16 л / хв. Секція оливного насоса подає олива в систему

змащення двигуна, а задня (радіаторна) - в фільтр відцентрового очищення і радіатор.

Запобіжний клапан, що нагнітає секції відрегульований на тиск 0,8 -0,85 МПа і перепускає олива з нагнітаючої порожнини у вемоктувальну.

Клапан системи мащення (диференційний) розміщений в корпусі нагнітаючої секції, призначений для обмеження тиску в головній магістралі і відрегульований на тиск початку відкриття 0,4 -0,45 МПа.

Оливний піддон сталевий, штампований, прикріплений до блоку циліндрів болтами з пружинними шайбами. Між піддоном і блоком встановлена герметична резина-пробкова прокладка товщиною 3,0 мм.

Повнопотоковий фільтр очищення оливи прикріплений трьома болтами до правої стінці блоку циліндрів. При збільшенні опору фільтру (при низькій температурі оливи або засмічення фільтруючих елементів) олива, минаючи фільтруючі елементи, що надходять через перепускний клапан в головну магістраль. Клапан відкривається, коли різниця тисків до і після фільтруючих елементів досягає 0,25 -0,3 МПа.

Фільтр відцентрової очистки оливи з активно-реактивна приводом ротора, встановлений на передній кришці блоку циліндрів з правого боку двигуна. Ротор в зборі з ковпаком наводиться в обертання під дією струменя оливи, яка витікає з щілини-соплів в осі ротора, а також реактивних сил, що виникають на виході оливи з ротора в канал осі через тангенціальні сопла в роторі.

При роботі двигуна олива з радіаторної секції насоса під тиском подається в фільтр, забезпечуючи обертання ротора. Під дією відцентрових сил механічні частки відкидаються до стінок ковпака ротора і затримуються, а очищене олива через отвір в осі ротора в трубку надходить в повітряно-оливний радіатор або через зливний клапан в корпусі фільтра, відрегульований на тиск 0,05 -0,07 МПа і обмежує максимальний тиск перед центрифугою.

Щоб уникнути порушення балансування ротора при обслуговуванні фільтра на роторі і ковпаку ротора виконані мітки, які необхідно поєднувати при його складанні.

Оливний радіатор трубчасто-пластинчатий, дворядний, повітряного охолодження. При температурі вище 0°C , а також при роботі автомобіля в тяжких дорожніх умовах необхідно включати оливний радіатор, відкриваючи кран, що знаходиться на корпусі фільтра відцентрової очистки оливи. При температурі нижче 0°C рекомендується вимикати оливний радіатор.

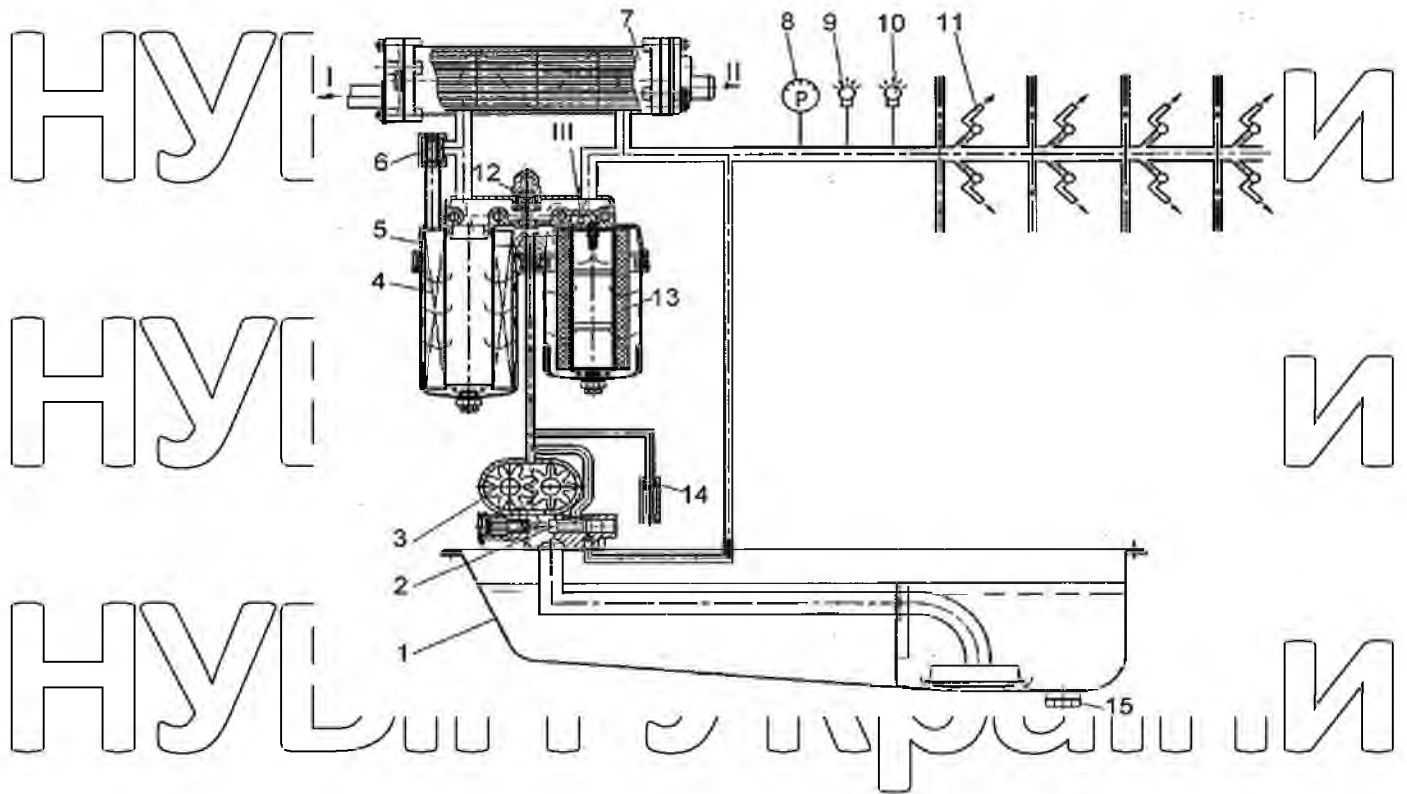
Система вентиляції картера відкрита, гази проходять через сапун-уловлювач відокремлює частинки оливи від газів.

1.2.2. Масильна система дизелів КАМАЗ -Євро-2, 3

Масильна система двигуна комбінована, з «мокрим» картером (рисунок 1.3).

Олива під тиском подається до корінних і шатунних підшипників колінчастого валу, до підшипників розподільного валу, втулок коромисел, до підшипників паливного насоса високого тиску, компресора і турбокомпресорів [148 -150].

Система змащування включає в себе оливний насос, картер оливний, фільтр очищення оливи, водооливний теплообмінник, масляні канали в блоці і головках циліндрів, передній кришці і картері маховика, зовнішні мастилопроводи, оливозаливну горловину, клапани для забезпечення нормальної системи та контрольні прилади.



1 - олильний картер; 2 - клапан системи мащення; 3 - олильний насос; 4 - повнопотоковий елемент фільтра; 5 - олильний фільтр; 6 - перепускний клапан; 7 - водоолильний теплообмінник; 8 - показник тиску оливи; 9 - сигналізатор аварійного падіння тиску оливи; 10 - сигналізатор перегріву оливи; 11 - форсунки охолодження поршнів; 12 - термодіапазон; 13 - частково-потоковий елемент фільтра; 14 - клапан запобіжний; 15 - пробка зливного отвору; I - відведення охолоджуючої рідини; II - відведення охолоджуючої рідини; III - слив в олильний картер

Рис. 13 - Схема системи мащення двигунів КАМАЗ - СВРС

Олива з оливного картера через оливоприймач надходить в олильний насос, з якого через канал в правій стінці блоку циліндра воно подається в фільтр очищення оливи, де очищається. Далі воно потрапляє через водоолильний теплообмінник в головну масляну магістраль, звідки по каналах в блоці головках циліндрів направляється до корінних підшипників колінчастого валу, форсунок охолодження поршнів, втулок коромисел і верхнім наконечникам штанг штовхачів.

До шатунних підшипників колінчастого валу олива подається по отворах всередині валу від найближчої корінної шийки. Через канали в задній стінці блоку циліндрів і картері маховика олива під тиском надходить до підшипників: компресора паливного насоса і турбокомпресорів, через канали в передній стінці блоку – до підшипників паливного насосу високого тиску. Передбачено відбір оливи з головної магістралі для подачі до вмикача гідромуфти.

Односекційний оливний насос підвищеної продуктивності 150 л / хв подає оливу в головну масляну магістраль двигуна. У корпусі насоса встановлені редукційний і диференційний клапан. Редукційний клапан призначений для обмеження максимального тиску на виході з насоса, відрегульований на тиск відкриття 0,85 - 0,89 МПа. Диференціальний клапан, що спрацьовує при тиску 0,4 - 0,45 МПа, призначений для обмеження тиску в головній масляній магістралі.

Фільтр оливний складається з двох ковпаків, в яких встановлені повно-поточний і частково-поточний фільтруючі елементи. У корпусі фільтра також розташований перепускний клапан, перепускає неочищену оливу в головну магістраль, минаючи фільтруючий елемент, при низькій температурі оливи або значному засміченні фільтруючих елементів при перепадах тиску на елементах 0,25-0,30 МПа.

Очищення оливи у фільтрі комбінована. Через повно-поточний фільтроелемент проходить основний потік оливи перед надходженням до споживачів, тонкість очищення оливи при цьому становить 40 мкм. Через частково-поточний фільтроелемент проходить 3-5 л/хв, де видаляються домішки розмірами більше 5 мкм. З частково-поточного елемента олива зливається в картер. При такій схемі досягається високий ступінь очищення оливи від домішок.

Водо-оливний теплообмінник кожухо-трубного типу, збірний. У середині трубок проходить охолоджуюча рідина із системи охолодження двигуна, зовні - олива. Для кращого охолодження внутрішня поверхня трубки має ребристу поверхню. Потік оливи в теплообміннику чотири рази перетинає трубки з водою, ніж досягається висока ефективність охолодження оливи.

1.3 Аналіз закономірностей старіння оливи в процесі експлуатації

Знос деталей двигуна, термін служби оливи залежать від фізико-хімічних властивостей оливи, інтенсивності їх зміни в процесі старіння оливи. При температурі оливи на поверхні тертя вище критичної різко зростає інтенсивність зношування. В процесі експлуатації під дією підвищеної температури оливи прискорюється процес старіння, зниження змащувальних властивостей оливи. Тому при експлуатації автомобілів необхідно знати і враховувати закономірність старіння оливи в агрегаті в часі і вплив старіння на експлуатаційні властивості оливи.

За даними [1, 21], схема факторів і складових, що визначають інтенсивність старіння моторної оливи, наведена на рисунку 1.4.



Рис. 1.4 - Схема забруднення оливи при роботі дизеля

Найбільш інтенсивне старіння оливи відбувається в зоні поршневих кілець двигуна, де тонка плівка оливи має високу температуру і концентрацію продуктів згорання палива, особливо сірчастого палива. В результаті нейтралізації кислих

сподук продуктів сірчистого палива знижується лужність оливи. Оксиди сірки в присутності води дають сірчисті, сірчані кислоти, які, в свою чергу, при взаємодії з вуглеводнями оливи і продуктами їх окислення утворюють сульфатні кислоти.

Ще одним місцем найбільш інтенсивного старіння оливи в двигуні є турбокомпресор. Температура газів на вході в турбінну досягає 700-1000 °С [124], що веде до перегріву корпусу турбокомпресора, в тому числі і підшипникового вузла. Після зупинки двигуна вал ротора турбокомпресора продовжує обертатися ще близько 20-30 с. (Вибіг) без подачі оливи в підшипниковий вузол. Внаслідок «теплого удару» олива в підшипниковому вузлі нагрівається до 200 – 220 °С, при тому, що для сучасних олив критичною температурою, при якій відбувається коксування, є 150-160 °С. При такій термонагрузці оливи вкрай швидко утворюють нагар - і лакоутворення на деталях підшипникового вузла, виводячи турбокомпресор з ладу.

При надмірному перегріванні оливи особливо небезпечними продуктами окислення є оксикислоти і асфальтени, не розчинні в оливі і пилки. Вони забивають кільцеві канавки і викликають пригорання поршневих кілець, заклинювання валу ротора турбокомпресора. Нейтралізує дію присадки засновано на взаємодії металу присадки з кислими продуктами згорання палива або окислення оливи [160].

Схема процесів окислення вуглеводнів оливи приведена на рис. 1.5.

В процесі експлуатації двигуна з постійною кількістю оливи G в масляній системі (при доливі оливи, рівному його чаді), кількість лужної присадки залежить від вихідного z_0 кількості, інтенсивності витрати α_z лужної присадки, віднесеної за всієї кількості оливи в системі в частках одиниці z . На нейтралізацію продуктів окислення, інтенсивності чаду Q_y і доливання Q_d оливи [1, 26-28].

За пробіг d_1 кількість лужної присадки зменшується на d_2 в одиниці об'єму оливи або $G d_2$ у всьому об'ємі. таке зменшення відбудеться через витрати лужної присадки на нейтралізацію продуктів окислення за цей пробіг $\alpha_z d_1$, втрати лужної

присадки зі згорілим оливам Q_{ycdl} і надходження лужної присадки при доливанні оливи Q_{ycd} dl ; оскільки $Q_{y} = Q_{д} = Q_{в}$

$$G_{dc} = \alpha_c c_{dl} + c_0 Q_{dl}. \quad (1.1)$$

Інтенсивність, частку одиницю пробігу на α_3 витрати одиниці лужної нейтралізацію продуктів присадки окислення приймають пропорційно вмісту сірки в паливі і витраті палива.

Після математичних перетворень і рішення рівняння спочатку щодо l отримують залежність лужності z від пробігу l :

$$c = \frac{c_0 \left(Q + \alpha_c e \frac{Q + \alpha_c l}{G} \right)}{Q + \alpha_c}. \quad (1.2)$$

При тривалій роботі двигуна без заміни оливи з доливом, рівним його чаду, рівень лужності практично не залежить від кількості оливи в системі, а залежить тільки від початкової лужності z_0 і параметрів Q і α_3 - витрати лужності за одиницю пробігу в частках одиниці лужності, віднесеного до всієї кількості оливи в системі, $\alpha_c = C'G / l$, де z' частка одиниці лужності оливи, що витрачається на нейтралізацію продуктів окислення.

При зниженні лужності нижче значення z_1 збільшується корозійний знос z - за неповної нейтралізації кислот. Тому, якщо рівень початкової лужності z_0 великий, а $z > z_1$ при значному пробігу, то термін заміни оливи визначається накопичення забруднень.

Інтенсивність експоненціального зниження концентрації лужної присадки в процесі експлуатації залежить від теплового режиму сполучень двигуна, забруднення оливи, якості палива. Тому в міру форсування дизелів підвищуються вимоги до композиції присадок і до періодичності заміни оливи.

Нині в хімотології відсутній єдиний підхід або одиничний показник, що характеризує якість працюючої моторної оливи, для відновлення його властивостей або заміни по фактичному стану. Для оцінки якості працюючої моторної оливи існує безліч методів які передбачають використання того чи іншого фізико-хімічного показника, різні комбінації показників, як критерії оцінки його працездатності [130]. Однак результати даних досліджень і розроблені методи спрямовані, в основному, на вирішення завдань своєчасної заміни оливи, які відпрацювали свій ресурс.

В процесі старіння в оливі накопичуються продукти згоряння палива, згоряння і розкладання присадок, що утворюють продукти окислення, які при фізико-хімічних аналізах можуть характеризуватися зміною змісту нерозчинного осаду, лужного числа, кислотного числа працюючої оливи.

Лужне і кислотне число, як свіжої, так і працюючої оливи, є найважливішими показниками, що свідчать про зміст і спрацьовування присадок в оливі. Так, в ряді відомих технологій продовження термінів служби моторних оливи і їх заміни по фактичному стану, лужне число розглядається як основний бракувальний показник [131].

Для експрес оцінки експлуатаційних властивостей робочих моторних оливи пропонується використовувати сукупний показник якості, що відображає і стан властивостей оливи в динаміці і якість очищення від продуктів старіння [130]. Застосування такої методики дозволяє відмовитися від регламентної неефективної заміни оливи і продовжити термін його служби. Як сукупного показника якості в роботі [130] прийнятий показник $SK_{p, m, m}$ характеризує взаємозалежність і взаємозв'язок стану оливи параметрів технологічного процесу очищення працюючих моторних оливи від продуктів старіння. Він виражається сумою одиничних оціночних показників. Застосування цього показника підвищує адекватність оцінки властивостей оливи в умовах реальної експлуатації сільськогосподарської техніки.

Таким чином, запропонований сукупний показник характеризує якість очищення працюючої моторної мащення за змістом нерозчинних забруднень (смоли, асфальтени, карбени, карбоїди) продуктів старіння оливи і лужному числу, як показнику запасу експлуатаційних властивостей. Це дозволяє оптимізувати технологічний процес очищення працюючих моторних оливи від продуктів старіння шляхом визначення оптимальних параметрів засобів очищення оливи без їх зливу з картерів двигунів внутрішнього згорання [130].

В зв'язку з форсуванням двигунів все більш актуальною стає проблема відкладення на деталях, які діляться на три основних види - нагар, лаки і опади [26-28]:

- нагар - це тверді вуглецеві речовини на поверхнях камери згорання, відкладення яких залежать від температури і обумовлює всі види ненормального згорання суміші;

- лаки - продукти окислення тонких масляних плівок на поверхні деталей циліндро-поршневої групи під дією високої температури. Найбільш небезпечно лакоутворення в сполученнях кілець і поршня, а також в зоні кілець ущільнювачів турбокомпресора, що викликає їх закоксування (втрату рухливості), що також погіршує теплопередачу до поршня і тепловідвід від нього;

- опади утворюються на деталях двигуна найчастіше в умовах зимової експлуатації, при частих пусках і зупинках і їх кількість залежить від якості моторної оливи

В основі старіння оливи лежать процеси окислення, полімеризації і розкладання вуглеводнів, які супроводжуються забрудненням. Розрізняють такі види окислення оливи в двигунах [104, 105]: в товстому шарі - в піддоні картера; в тонкому шарі - на поверхні гарячих деталей; в туманообразном (краплинному) стані в циліндро-поршневої і клапанної групах. Окислення в товстому шарі утворює опади у вигляді шламів, а в тонкому шарі - у вигляді лаків.

Окислення вуглеводнів моторних оливи може йти за двома основними напрямками [104, 105], продукти окислення за якими різні (рисунк 1.6). Продукти окислення по першому шляху є кислотними, які виникають опадів і при знижених температурах. Продукти окислення за другим напрямком - нейтральні, з яких утворюються лаки і нагар.

В роботі проведено аналіз факторів, що впливають на інтенсивність різних відкладень на деталях двигунів. При експлуатаційних випробуваннях отримано, що лінійно збільшувалася кількість механічних домішок, коксове число і зольність і знижувалася кислотність (рисунки 1.7 -1.10).

При підвищенні температури днища поршня від 100 до 300°C товщина нагару знизилася майже в чотири рази (рисунки 1.11 - 1.12), що пояснюється випалюванням нагару при підвищеній температурі. Твердість же нагару підвищилася в 8 -9 разів через спікання нагару при високій температурі.

Лакоутворення на поверхнях поршнів двигунів збільшується зі зростанням температури (малюнки 1.13 - 1.14). При цьому температура підвищення лакоутворення на зовнішніх поверхнях знижується в результат виділення лаку в результаті тертя.

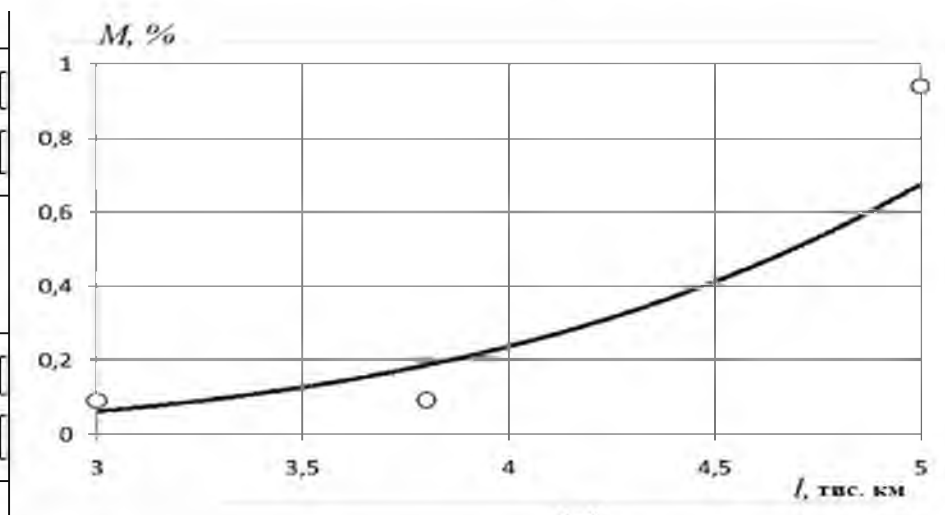


Рис. 1.7 - Залежність змісту механічних домішок від напрацювання оливи в двигуні ЗМЗ-402.10

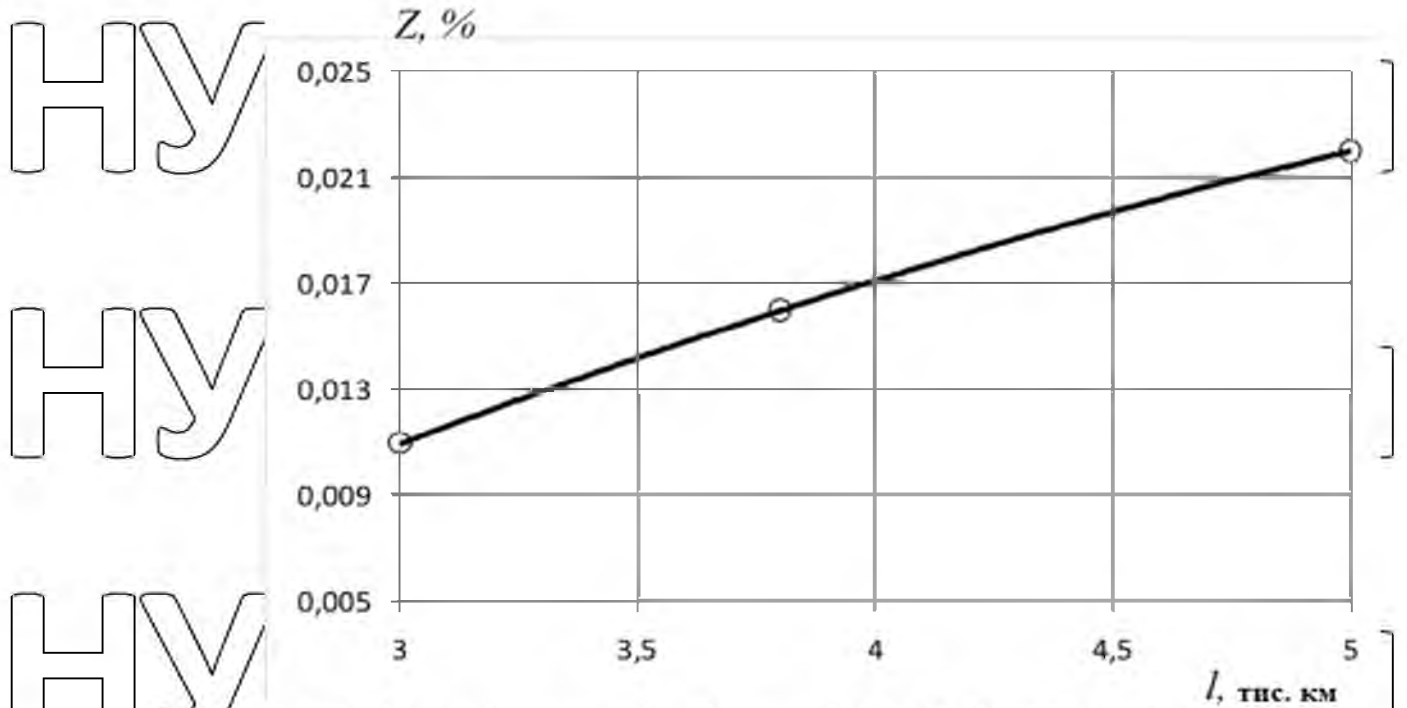


Рис. 1.8 - Залежність вмісту золи від напрацювання оливи в двигуні ЗМЗ - 402.10 [105]

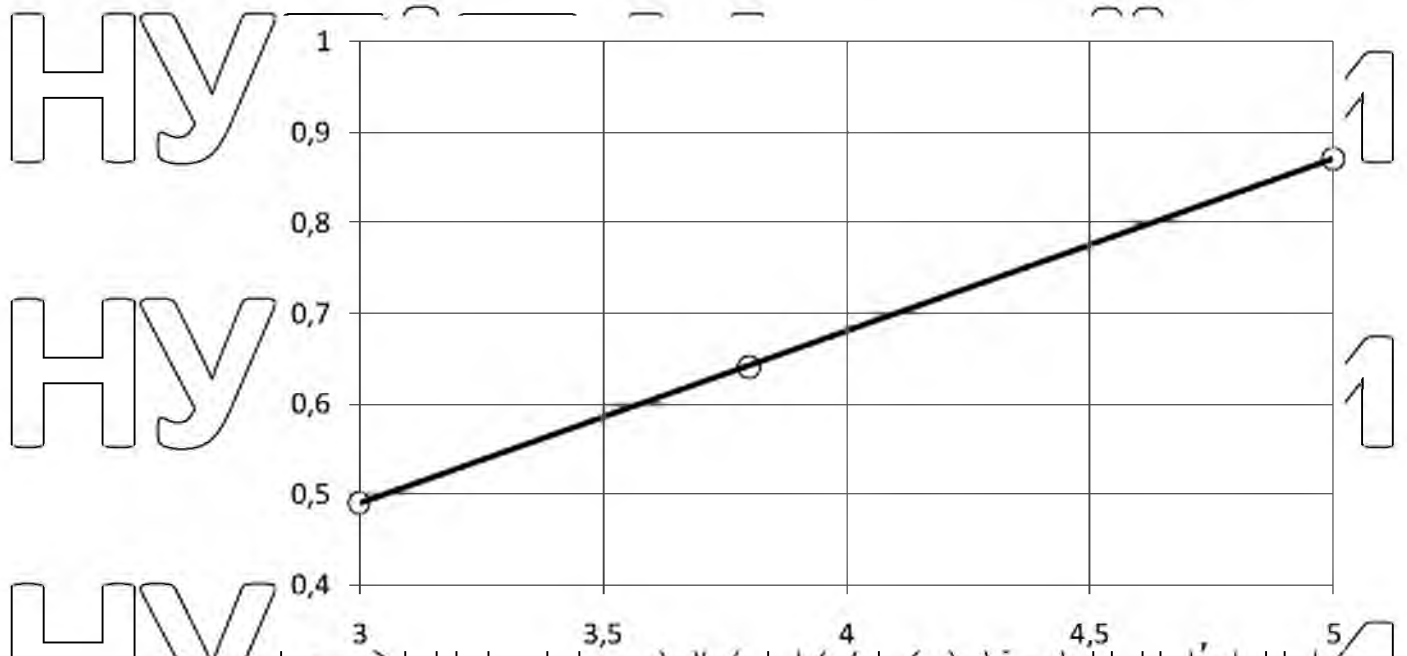


Рис. 1.9 - Залежність вмісту коксу від напрацювання оливи в двигуні ЗМЗ - 402.10

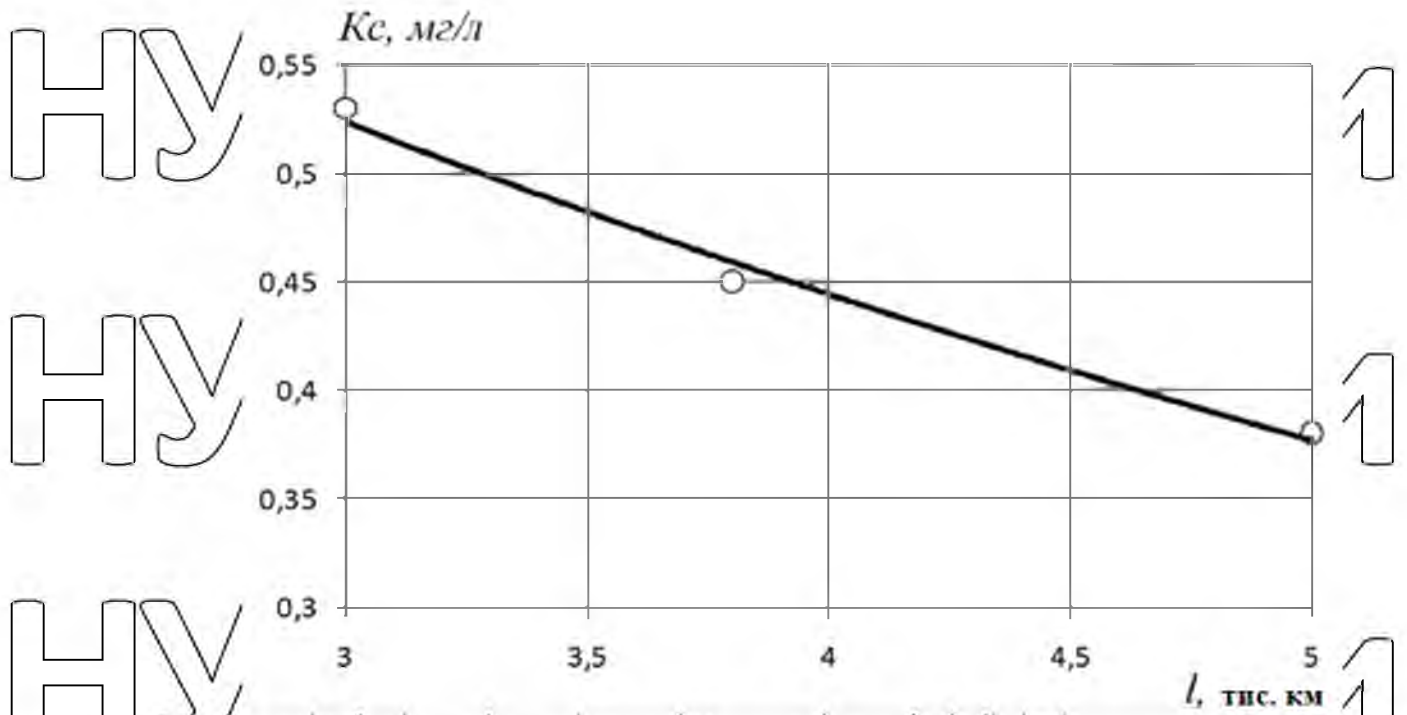


Рис. 1.10 - Залежність кислотності від наїждження оливи в двигуні ЗМЗ

-402.10

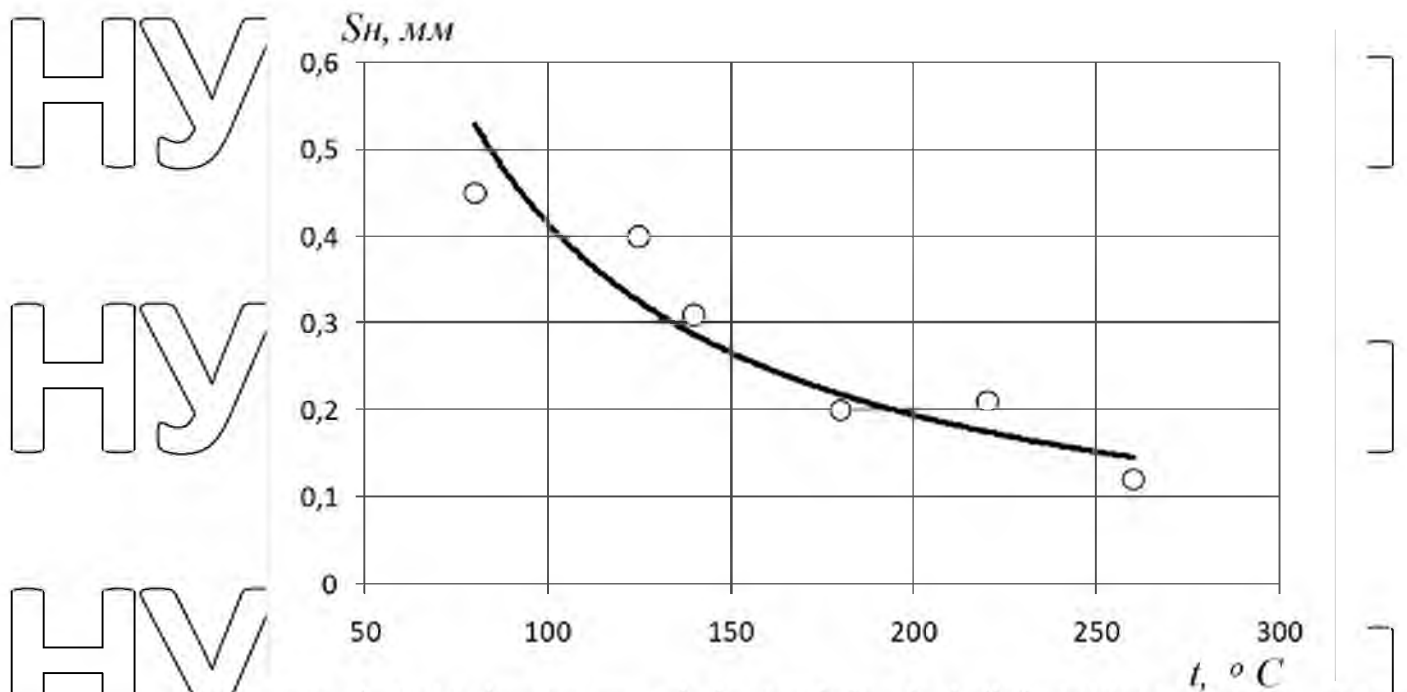


Рис. 1.11 - Залежність товщини нагару на поверхні днища поршня двигуна ЗМЗ -5234.10 від її температури

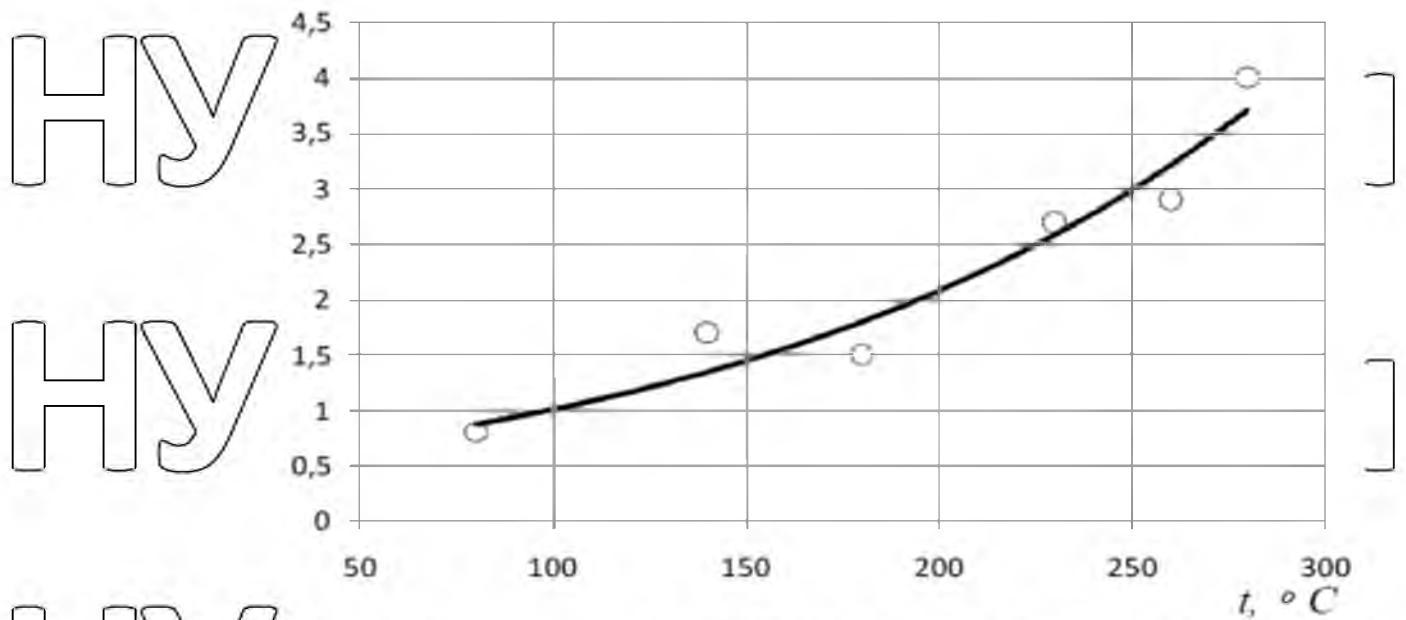


Рис. 1.12 - Залежність твердості нагару (в балах за нормами 344-Т) на поверхні днища поршня двигуна 3МЗ - 5234.10 від її температури

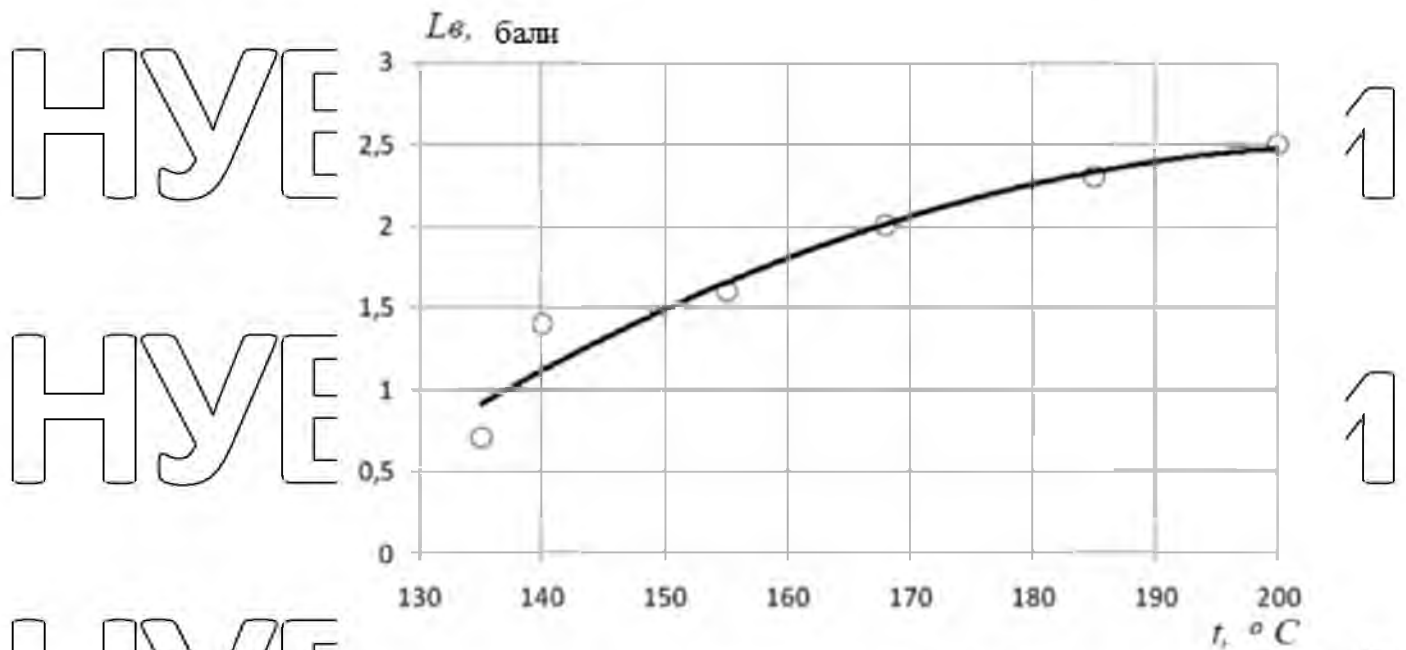


Рис. 1.13 - Залежність відкладень лаку (в балах за нормами 344-Т) на внутрішній поверхні поршня двигуна 3МЗ - 5234.10 від її температури [105]

НУБІП України

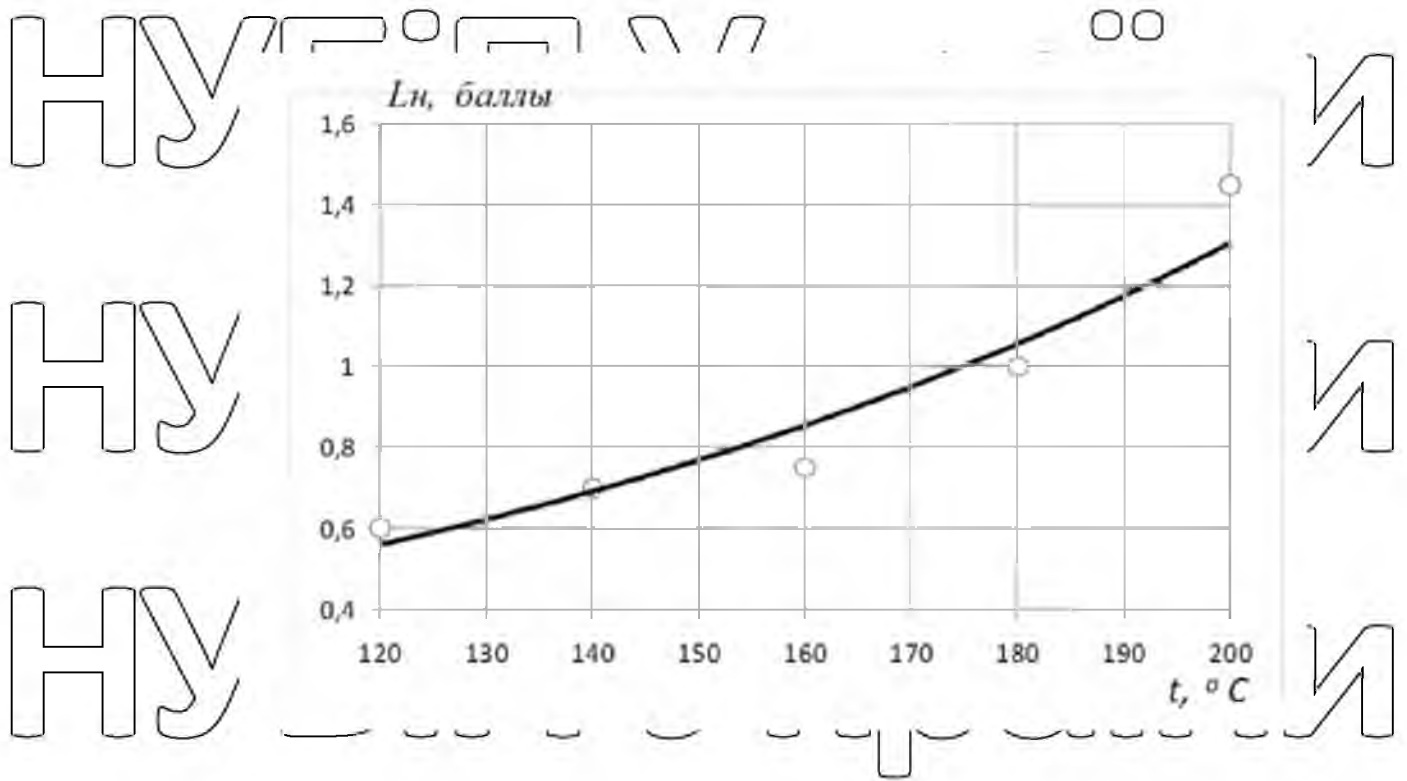


Рис. 1.14 - Залежність відкладення й лаку (в балах за нормами 344-Т) на

зовнішній поверхні поршня двигуна ЗМЗ - 5234.10 від її температури [105]

Закономірне збільшення відкладень лаків на внутрішній (неробочій) поверхні поршнів викликає зменшення тепловідведення в олива при збільшенні наробітку. Це викликає поступове збільшення температури двигуна в міру наближення на працювання до заміни оливи при черговому ТО-2 автомобіля [104].

Осадоутворення на поверхнях картера і клапанної кришки при підвищенні температури поверхонь зменшується внаслідок зниження вмісту води в картерних оливи (рисунки 1.15 - 1.16).

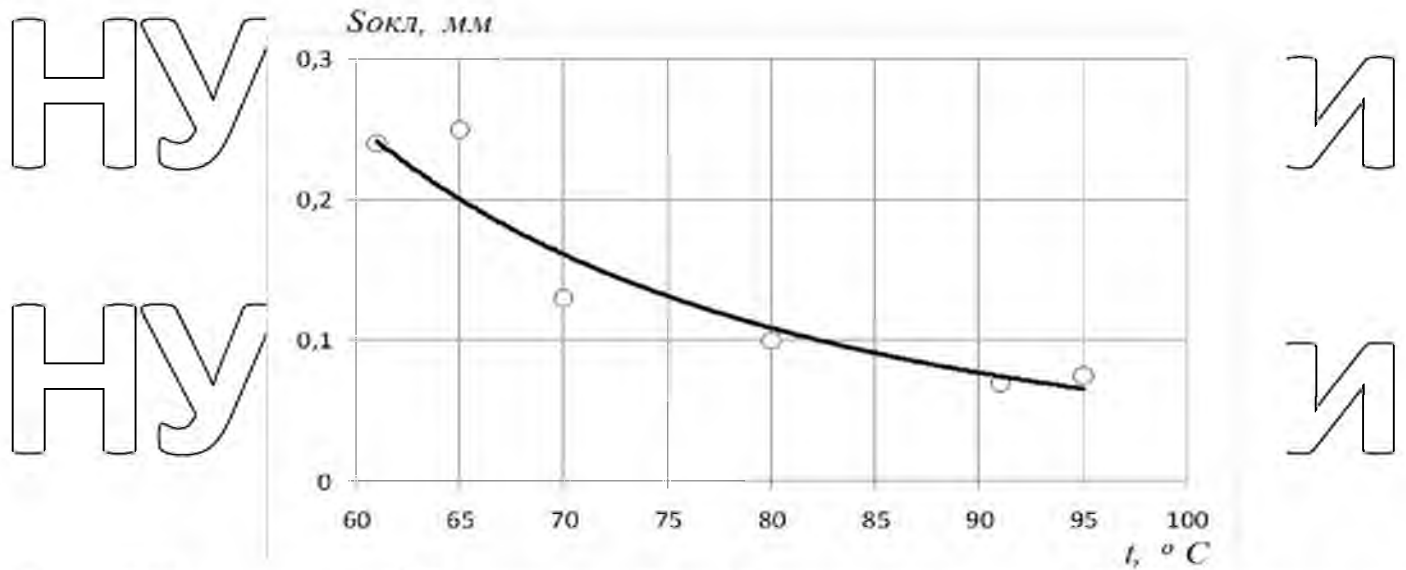


Рис. 1.15 - Залежність товщини відкладень опадів на поверхні картера двигуна 3М3-5234.10 від її температури [105]

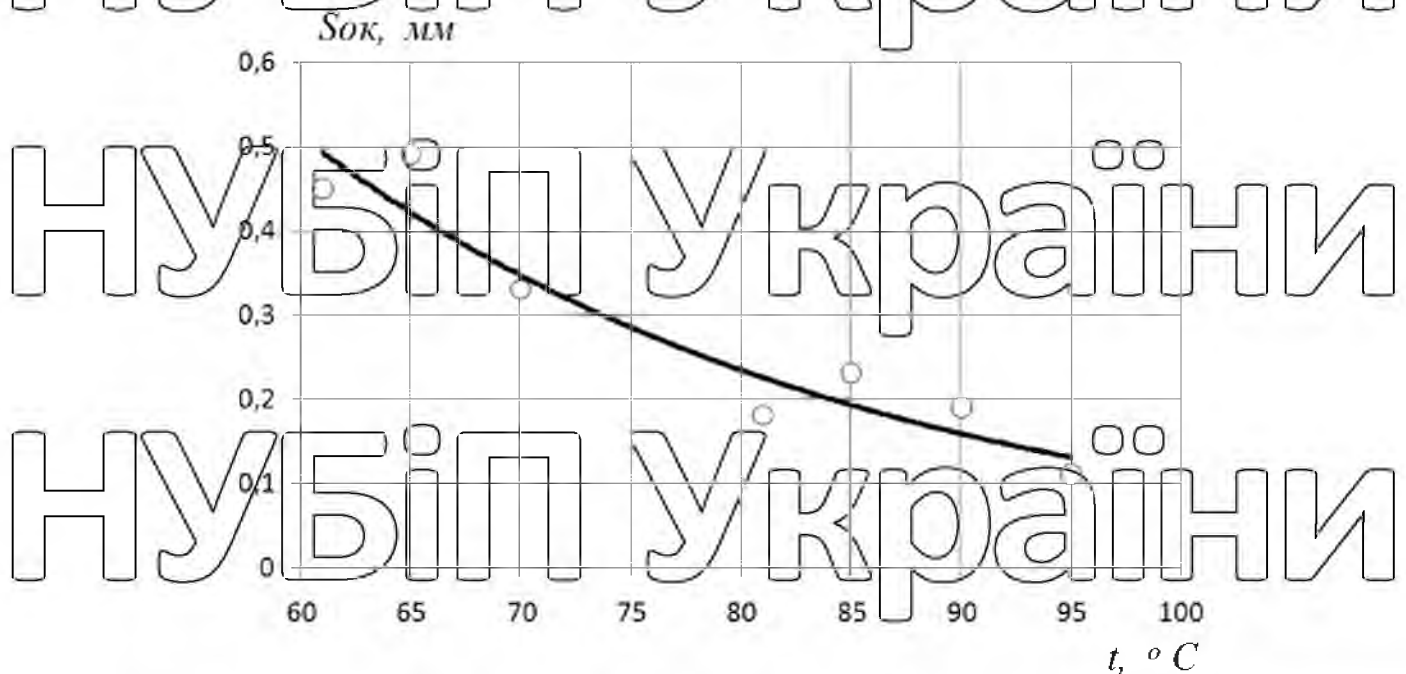


Рис. 1.16 - Залежність товщини відкладень опадів на поверхні клапанної кришки двигуна 3М3-5234.10 від її температури [105]

Додатковими факторами, що впливають і на склад і характеристики моторної оливи в процесі експлуатації, є його витрата і кількість доливої свіжої

оливи. На витрата оливи крім умов експлуатації впливають технічний стан двигунів і якість його технічного обслуговування. У фахівців з оливи існує думка, що 50% зносу двигуна припадає на останні 20% терміну служби оливи [145].

Таким чином, вважається, що основним завданням збереження працездатності двигуна, є визначення моменту, коли олива відпрацювало 80% свого ресурсу, щоб забезпечити своєчасний його слив і заміну у з одночасною заміною оливного фільтра.

У зв'язку з цим великий інтерес представляють методи оцінки стану працюючої оливи і визначення його граничного стану, а також періодичність заміни оливи (таблиці 1.2-1.3).

Таблиця 1.2
Періодичність заміни моторних оливи різних фірм

Фірма виробник	Паливо, олива	умови експлуатації	інтервали для різних моделей, км
CATERPILLAR	малосірчисте, CG-415W-40 API CG-4	магістралі легкі нормальні важкі	40000 43400-51500 35400-40000 24000-29000
CUMMINS	вміст сірки до 0,5%	магістралі, Місто (часті зупинки, зворушення) короткі пробіги	19200-24000 9600-19200 9600-19000
DETROIT DEISEL	вміст сірки до 0,5%	магістралі, Місто (часті зупинки, зворушення) короткі пробіги	16000 6400 6400-12500

Таблиця 1.3

Граничні значення показників стану моторної оливи

Показники	Detroit Diesel	Caterpillar	Cummins
В'язкість при 100 ° С, мм ² /с	-	+/-3	+/-4
В'язкість при 40 ° С, мм ² /с - збільшення, %, макс - зниження, %, макс.	40 15		
Розведення паливом, %, макс. Температура спалаху, °С/хв	2,5 Зниження на 20°С, макс.	4,0 204	5,0
Вміст води, %, макс	0,3	0,5	0,2
Нерозчинні включення, розчинник-пентан, % мас.	1,0		
Сажа, термогравиметрія, % мас, макс.	1,5	-	1,5

Наведені дані мають значну варіацію, оскільки засновані на різних методах визначення. Тому доцільно проаналізувати методи і критерії визначення періодичності заміни оливи.

1.4 Методи визначення нормативів профілактики системи мащення двигуна.

Періодичність заміни оливи, як основної складової операції ТО - це нормативна напрацювання (в кілометрах пробігу або години роботи) між двома

послідовно проведеними роботами ТО [124]. Методи визначення періодичності ТО поділяються на найпростіші, аналітичні, засновані на результатах спостережень і заснованих на закономірностях технічної експлуатації автомобілів і імітаційні, засновані на моделюванні випадкових процесів.

Найпростіші методи використовувалися на початкових стадіях формування планово-попереджувальної системи (ППС) ТО і Р, а також при освоєнні нових моделей автомобілів або мастильних матеріалів. При цих методах систематизувалася інформація про напрацювання до певних симптомів відмов (стуки, скрипи, підтікання та інші). При освоєнні нових моделей автомобілів або мастильних матеріалів періодичність ТО призначали по аналогії з наявними протоколами або усередненням періодичності по декількох моделях автомобілів [124].

Найбільш доцільним методом визначення нормативів профілактики системи мащення двигуна є техніко-економічний [124]. Цей метод заснований на мінімізації сумарних питомих витрат на заміну оливи і ремонт. Мінімальним питомими витратами відповідає оптимальна періодичність заміни оливи V . При цьому питомі витрати на заміну оливи складають:

$$C_{TO} = \frac{S_{TO}}{V}, \quad (1.3)$$

де V - періодичність заміни оливи;

S_{TO} - вартість заміни оливи.

При збільшенні періодичності заміни оливи разові витрати (S_{TO}) залишаються постійними, а питомі витрати значно скорочуються. Збільшення періодичності заміни оливи підвищує ймовірність відмови елементів двигуна, а отже, збільшує витрати на поточний ремонт (ПР) оскільки абсолютні витрати на ПР практично пропорційні ймовірності відмов, то питомі витрати становлять:

$$C_{TP} = \frac{S_{TP} \cdot P(l)}{l}, \quad (1.4)$$

де S_{TP} - вартість усунення відмови, $P(l)$ - ймовірність відмови.

Визначити мінімум сумарних витрат:

$$C_{\Sigma} = C_{TO} + C_{TP}, \quad (1.5)$$

можна графічно або аналітично при відомих формах залежностей $3T_{Pro} = f(l)$ і $3T$

$P = \varphi(l)$ (Рисунок 1.17). Цей метод використовується для визначення оптимальної періодичності більшості операцій, не пов'язаних з безпекою руху.

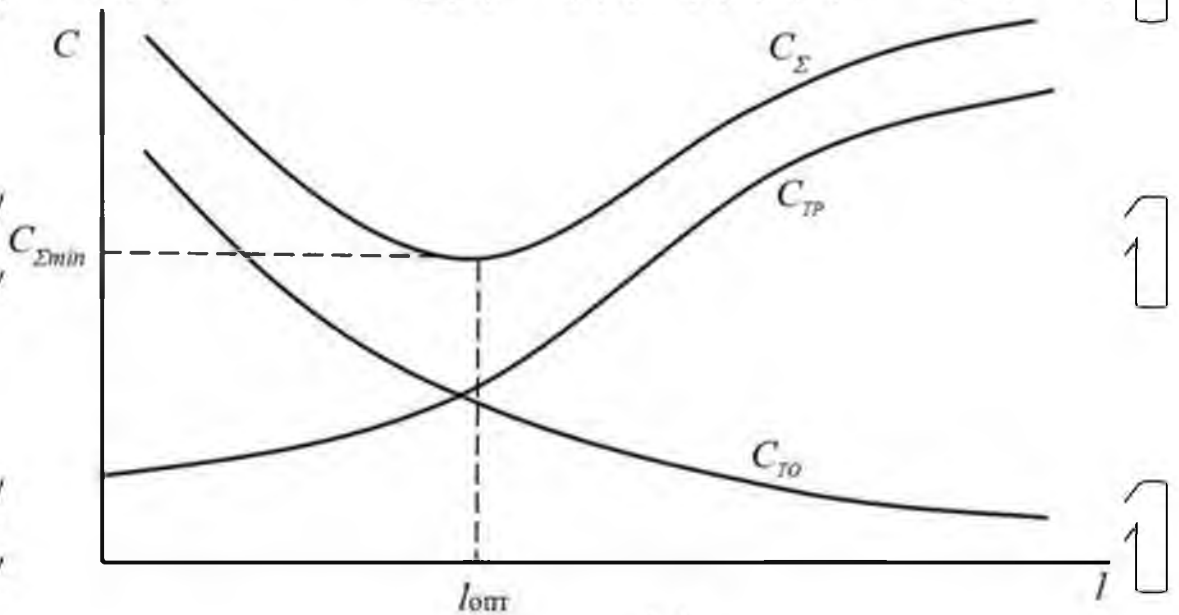


Рис. 1.17 - Визначення періодичності заміни оливи за техніко-економічним методом

Разом з тим, цей метод вимагає ретельного обліку витрат на ТО і Р і обліку умов експлуатації автомобілів на протяжні і тривалій експлуатації

1.5 Висновки по розділу

На підставі вищевикладеного матеріалу і його аналізу можна зробити наступні висновки по розділу:

1. Сучасні автомобільні дизелі відрізняються підвищеною агрегатною потужністю за рахунок застосування турбонадува, що дозволяє підвищити потужність в два - три рази і знизити питомі витрати палива, але на шкоду механічній і тепловій напруженості деталей.

2. Надійна робота таких форсованих двигунів забезпечується шляхом значного поліпшення якості застосовуваних моторних оливи і присадок до них, а також зміною конструкції двигунів, підвищенням ефективності вентиляції картера, охолодження оливи і очищення оливи, і т.д.

3. В процесі експлуатації відбувається процес старіння оливи. Тому при експлуатації автомобілів необхідно враховувати закономірності старіння оливи і його вплив на експлуатаційні властивості оливи.

4. Інтенсивність уменшення лужного числа в процесі експлуатації залежить від теплового режиму двигуна, забруднення оливи, якості палива. Тому при форсуванні автомобільних дизелів підвищуються вимоги до присадки і до періодичності заміни оливи.

5. Існує безліч методів визначення нормативів профілактики мастильних систем двигуна, з яких найбільш обґрунтованим є техніко-економічний.

На підставі отриманих висновків можна стверджувати, що підтримка необхідного рівня оливи в картері двигуна дозволить забезпечувати необхідний температурний режим деталей двигуна, винос продуктів зносу з пар тертя, а також оптимальні умови мащення за рахунок присутньої в оливі пакету присадок. Разом з тим, в експлуатації відбувається зменшення об'єму оливи в картері з-за витоків і чаду, а також зміна його властивостей внаслідок старіння, що веде до порушення функціонального стану системи мащення, підвищення температури оливи, порушення нормального режиму змащення і інтенсифікації зношування деталей.

Однак, виконання періодичної профілактики системи мащення (наприклад, долив

оливи до необхідного рівня) дозволяє відновлювати функціональний стан системи мащення, знизити температуру оливи, оновити присадки, що, в цілому, підвищить ресурс двигуна.

Таким чином, можна сформулювати мету роботи і завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети. Метою роботи є зниження експлуатаційних витрат автомобільних форсованих дизельних двигунів за рахунок зменшення інтенсивності погіршення технічного стану деталей і старіння оливи на основі підтримки функціонального стану системи мащення шляхом регулювання об'єму оливи в картері.

Завдання дослідження:

- 1) аналітично досліджувати закономірності зміни технічного стану основних елементів двигуна і властивостей моторної оливи від його об'єму в картері;
- 2) експериментально визначити параметри залежностей зміни технічного стану основних елементів форсованих двигунів КАМАЗ-Євро і властивостей оливи від об'єму його доливання в картер;
- 3) обґрунтувати раціональні режими доливання моторної оливи в форсованих двигунах КАМАЗ-Євро;
- 4) дати практичні рекомендації щодо вдосконалення заходів для підтримки функціонального стану системи мащення форсованих двигунів КАМАЗ-Євро в експлуатації і техніко-економічну оцінку результатів дослідження.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ОЛИВИ В КАРТЕРІ НА НАДІЙНІСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

2.1 Сутність механічних втрат і їх розмір, процеси тертя, змащення і

зношування в вузлах двигунів

В теорії двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) механічні втрати розглядаються як витрачена енергія на подолання всіх видів опору руху деталей, повітря і рідин (Частина індикаторної потужності). За різними оцінками, виконаним для конкретних типів ДВЗ, віднесена до індикаторної потужності частка механічних втрат на номінальному режимі роботи автотракторних дизелів без наддуву становить величину від 15 до 25%. Це говорить про те, що близько чверті енергії газів в поршневому двигуні безповоротно втрачається на подолання тертя [13].

Масильний матеріал запобігає безпосередній контакт поверхонь, охолоджує їх і забирає продукти зношування і окислення оливи. Крім того, він взаємодіє з металами і істотно змінює механічні властивості, зносостійкість і втомну міцність поверхневих шарів [13].

В зоні фрикційного контакту міцність мастильного шару залежить від навантаження, швидкості ковзання, температури, механічних властивостей матеріалів і стану поверхні, товщини шару і його складу. Ці фактори визначають види тертя, які можна розділити на рідинне, граничне, еласто - гідродинамічне і тертя без мастильного матеріалу. Такий поділ умовно, так як деталі двигунів внутрішнього згоряння працюють в змішаних режимах тертя, де реалізуються різні види механічного та корозійно-механічних зношування.

Більш складні процеси, що залежать від умов роботи, відбуваються при зношуванні деталей двигунів внутрішнього згоряння. Найбільший вплив із зовнішніх факторів на інтенсивність зношування за рахунок захоплення надають

абразивні частинки і температура в зоні фрикційного контакту. Особливо несприятливі умови тертя в циліндрі двигуна виникають під час реверсування в зонах мінімальних швидкостей руху поршня, особливо у камери згоряння, де температура поверхонь тертя циліндра і кілець досягає 350°C , максимальний тиск 6-16 МПа, і мінімальна товщина масляної плівки, яка розривається робочою сумішшю, вигорає в період займання і відбувається з-під верхніх кілець в момент такту стиснення [13]. Тому біля мертвих точок завжди спостерігається повне руйнування масляної плівки.

Металевого взаємодії і схоплюванню в циліндрах двигуна сприяють: термічна активація, підвищення температури до рівня руйнування масляних і адсорбційних плівок, температура спалаху на активних центрах в момент виходу дислокаційних сходинок.

Основними видами зношування циліндро-поршневої групи є механічне, втомлюване, абразивне та корозійно - механічне. На інтенсивність корозійно-механічного зношування впливають продукти згоряння палива, особливо сполуки сірки і ванадію. Це призводить до зміни механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів, їх відділенню частинок в результаті фрикційного взаємодії [13].

Джерелом абразивних частинок є повітря, що надходить в камеру згоряння для утворення горючої суміші. Кількість абразивних частинок, що надходять в циліндр, залежить від умов експлуатації і ступеня форсування дизеля. Встановлено, що найбільший вплив на абразивне зношування надають частинки розміром 35 мкм.

Крім того, абразивну дію надають продукти зносу, що складаються з твердих металевих частинок. Вони здатні мігрувати між поверхнями, що труться і пошкоджувати їх. Продукти згоряння палива (сажа) також сприяють зношуванню деталей двигуна.

Робота корінних і шатунних підшипників колінчастого валу характеризується знакозмінною навантаженням і відмінностями в швидкостях ковзання. Пара тертя «Вал-підшипник» працює в умовах рідинного тертя. Для забезпечення даного

режиму необхідно правильно розрахувати товщину оливного шару з урахуванням відхилень геометричної форми і шорсткості поверхні.

Розрахунок роботи підшипника ковзання при рідинному терті проводиться згідно з методиками, заснованим на пружно - гідродинамічної теорії мащення [13, 100]. Гідродинамічна підйомна сила оливного шару залежить від швидкості ковзання, в'язкості оливи, радіального зазору, навантаження і конструктивних параметрів валу і підшипника. У реальних умовах експлуатації рідинне тертя настає при сталому режимі тертя. При пусках і зупинках двигуна або роботі на малих обертах рідинне тертя переходить в граничне.

Основними причинами, що викликають інтенсивне зношування шатунних шийок, є недостатня подача оливи і, як результат, зближення труться за рахунок великих навантажень і забруднення моторних олив абразивними частинками. Крім того, шатунні шийки більш інтенсивно зношуються з боку, обернено й до осі колінчастого валу, внаслідок впливу інерційних сил і короткочасних максимальних навантажень від сусідніх циліндрів [13, 100].

Знос шийок колінчастого валу залежить від ступеня забруднення моторних олив абразивними частинками, які впроваджуються в м'які антифрикційні матеріали підшипників і дряпають поверхні шийок. У зонах виходу мащення з отворів шийок валу завжди утворюються кільцеві вироблення, що підтверджує наявність ефекту шаржування підшипників абразивними частинками. Для зменшення і знос шийок колінчастого валу, особливо шатунних, необхідно застосовувати заходи по очищенню оливи від твердих абразивних частинок. Крім того, на знос шийок впливає жорсткість валів [13, 100].

Згідно з положенням теорії зовнішнього тертя інтенсивність процесів, що протікають на поверхнях тертя, залежить від зовнішніх механічних впливів, властивостей матеріалів пари тертя і фізико-хімічного впливу мастильного середовища. Крім того, характер протікання даних процесів в значній мірі визначається геометрією і фізико-механічними властивостями контакту. У зв'язку

з цим, геометрія визначає відношення між фактичною і контурною площею контакту, тобто об'ємом міжконтактного простору, від якого залежить ефективність мащення вузла тертя.

Довговічність пари тертя визначається фізико-хімічних і механічним впливом мастильного матеріалу на матеріали пари тертя. Так, при рідинному терті на інтенсивність зношування впливають тільки властивості оливи, що визначають окиснювальний і корозійний види зношування.

Триботехнічні характеристики контакту визначаються товщиною мастильного шару оливи і його в'язкість. При цьому в масляному шарі відбувається ковзання між молекулярними рядами, що є важливим чинником рідинного тертя.

Граничне тертя характеризується взаємодією твердих тіл, розділених монослоєм мащення. При цьому швидкість ковзання і питомі навантаження такі, що питома сила гідродинамічного ефекту зневажливо мала. Граничні шари утворюються на поверхнях твердих тіл за рахунок адсорбції і хемосорбції активних молекул оливи, а також адгезії полярно активних частинок.

Існують критичні товщини плівки, нижче яких ковзання між молекулярними рядами мащення не відбуваються. Такі шари витримують великі нормальні навантаження і набувають властивостей квазіпружного тіла.

Граничне тертя впливає на комплекс процесів, що відбуваються в поверхневих шарах матеріалів пари тертя. Поверхневі дефекти структури кристалічної решітки, мікротріщини і мікропорожини, викликані перенапруженням металу, а також скупчення вакансій і т.п. призводить до сприятливого взаємодії зі змазкою. В результаті адсорбції мастило заповнює всю доступну поверхню. Основною причиною цього є зниження поверхневої енергії твердого тіла. Тиск адсорбційних шарів в мікротріщинах знижує механічні властивості і зменшує деформацію матеріалу.

Встановлено, що формується при терті дислокаційна структура поверхневих шарів впливає на процеси полімеризації комплекс освіти в мастилі. У свою чергу,

це призводить до зменшення наклепу і збільшення періоду циклу міцності поверхневого шару. Встановлено зв'язок між дислокаційною структурою поверхневого шару і властивістю мастильного матеріалу є важливою ланкою в дослідженні міцності поверхневого шару.

При важких режимах тертя позитивна роль мащення у постачанні молекулярного кисню і продуктів окислення оливи в зону тертя. Тільки освічені верстви металу взаємодіють з окислювачами і утворюють окисні шари, що підвищують несучу здатність сполучення. Наявність окисних плівок не дозволяє визначити справжнє значення коефіцієнта тертя для даної пари тертя, що спотворює результати зіставлення залежності коефіцієнта тертя від природи матеріалів, що труться тіла.

Для підтримки мінімальної інтенсивності зношування при легких режимах тертя необхідною умовою є рівність швидкостей утворення і руйнування окисних плівок. Збільшення швидкості окислення поверхні металу призводить до збільшення товщини окисного шару, ослаблення його зв'язку з основним металом, розтріскування і посилення зносу. В цьому випадку мастило виконує корисну функцію, окислення металу киснем, що знаходиться в газовій фазі.

Для забезпечення динамічної рівноваги швидкостей і руйнування окисних плівок мастильні матеріали легують антиокисними і протизадірними присадками, роль яких полягає в прискоренні або уповільненні швидкості освіти захисних шарів в залежності від механічних впливів.

Більшість вузлів механічних систем працюють в умовах граничного мащення, при якій металевий контакт тіл, що труться запобігає утворенням на поверхнях тертя граничних мастильних шарів різного походження. Вони утворюються в результаті взаємодії активного процесу тертя робочих поверхонь з активними компонентами мастильного матеріалу.

Здатність мастильного матеріалу утворювати міцні граничні шари достатньої товщини за короткі проміжки часу в значній мірі визначає довговічність важко -

навантажених вузлів, що працюють постійно або періодично в режимі граничного змащення, а також протизносні властивості самого мастильного матеріалу [100].

Освіта захисних адсорбційних, хімосорбційних і модифікованих шарів пояснюється пристосованістю трибосистеми під зовнішнім впливом захисною функцією. Сутність повного явища полягає в тому, що при його реалізації все взаємодії тіл, що труться і середовища локалізуються в тонких шарах вторинних структур тертя, що утворюються на вихідних матеріалах внаслідок їх структурної перебудови і взаємодії з середовищем [100].

Огляд світового досвіду застосування трибологічних методів для зниження механічних втрат в ДВЗ показує, що найбільш перспективними напрямками вирішення проблеми є:

1) профілювання поверхонь тертя змащуваних деталей зворотно-поступального руху;

2) поліпшення антифрикційних і протизносних властивостей конструкційних і мастильних матеріалів;

3) вдосконалення розрахункової технології зниження зносу ДВЗ в експлуатації за рахунок модифікації тертя і контролю старіння оливи і експериментальної оцінки механічних втрат на стадії проектування і доведення двигуна.

Аналізуючи ці напрямки, відзначимо, що ефективність зниження механічних втрат у вітчизняному машинобудуванні поки залишається недостатньою з огляду на роздільного, а не комплексного застосування зазначених напрямків і відповідних їм методів.

У методології профілювання недостатньо враховується найважливіша умова зниження втрат механічної енергії - узгодження параметрів профілю деталей з характером кінематики, зовнішнього навантаження і мащення вузла. При виборі матеріалів концепція міцності домінує над енергозбереженням.

Віднесена до індикаторної потужності частка механічних втрат на номінальному режимі роботи бензинових автомобільних двигунів і автотракторних дизелів без наддуву характеризується великим значенням (до 25%) для вітчизняних ДВЗ і меншим значенням (15%) - для їх зарубіжних аналогів.

З виконаних оцінок випливає, що безпосередньо пов'язані з тертям витрати палива в питомій вираженні складають від 7 до 11%. Порівняння прототипів і аналогів з певністю вказує, що при інших рівних умовах причина високих механічних втрат складається, перш за все, в низькому рівні (недоробку) конструкції і технології виготовлення деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) і кривошипно-шатунного механізму (КШМ); і, додатково, в гірших антифрикційних властивості мастильних матеріалів.

Остання обставина, з огляду на появу на вітчизняному ринку імпортованих моторних оливо (приблизно з середини 1980-х років) і поступового наближення до них за якістю вітчизняної продукції, в даний час, швидше за все, вже не є чинником, що стримує зменшення механічних втрат. Тому, високий рівень енергетичних витрат на подолання тертя в поршневих двигунах обумовлений, головним чином:

- помилками конструювання та технологічного супроводу основних деталей;
- зневагою трибологічних аспектів роботи двигуна, і, як наслідок, відсутністю підходу до проектування деталей тертя як об'єкт енергозбереження;
- незнанням істинного рівня механічних втрат спроектованої конструкції, що, в свою чергу, пов'язана з недостатньою розробленістю і застосовністю методів розрахунку та експериментального контролю параметрів тертя в основних рухливих сполученнях ДВЗ.

Нажаль, в бібліографічних списках статей вітчизняних періодичних журналів галузі енергомашинобудування тематика механічних втрат освітлена лише в об'ємі 2-5%. В даний час можна говорити про відсутність в навчально-методичної

літературі про поршневі двигуни систематизованого узагальнення проблеми зниження механічних втрат.

2.2 Призначення добавок до моторних мастил

В різних областях техніки для зниження втрат на тертя і підвищення надійності широко застосовується, цілий ряд композицій, що містять добавки конкретного функціонального призначення: модифікатори тертя, кондиціонери металів, реметалізанти (відновники) і т.п. Коло мастильних композицій безперервно росте за рахунок розробки нових складів.

В останні десятиліття науковці та фахівці відомих фірм-виробників мастильних матеріалів (СМ) і широке коло споживачів виявляють інтерес до проблеми поліпшення комплексу триботехнічних властивостей СМ і мастильних композицій (олива + добавки) за рахунок введення в СМ різного роду добавок [13, 14, 26, 28, 182]. Як добавки найчастіше використовують комплексні препарати на основі тефлону і інших фторвмісних компонентів металоорганічних оліварозчинні з'єднання, солей металів та розчинів, що містять іони металів, ультрадисперсних порошків металів і сплавів (УДП) і т.д. При використанні металовмісних добавок на поверхнях тертя утворюються тонкі металеві плівки або з'єднання типу сульфідів, фосфідів, що поліпшують триботехнічні характеристики сполучень.

Якісні моторні і трансмісійні оливи містять набори (пакети) присадок, що поліпшують їх властивості. Ефективність дії добавок обумовлюється їх хімічними властивостями і концентрацією в мастильних матеріалах, а також сумішею останніх до добавок (однакові добавки активніші для одних базових матеріалів, ніж для інших). Ці домішки мають добре розчинятися в мастильних матеріалах, мати малу летючість і не випаровуватися з них при зберіганні і експлуатації в широкому діапазоні температур; вимиваються водою і не піддаватися гідролізу, що не взаємодіяти з конструкційними матеріалами, що контактують з мастильними (за

винятком випадків, коли такі реакції лежать в основі механізму дії самих добавок), зберігати свої функції в присутності інших добавок і нечинити на них депресивної дії.

Сучасний товарний ринок насичений великою кількістю подібного роду препаратів. За характером дії на локальні зони тертя їх можна розділити на три представлені групи:

- перша - це препарати, які використовують принцип перенесення дрібнодисперсних частинок контактують пари тертя;

- друга - це модифікатори з поверхнево активними речовинами, що дозволяють організувати нові сполуки з продуктів зносу, основного матеріалу і наявної мастильної середовища;

- третя - це препарати, що володіють комплексним енергетичним впливом, що дозволяють не тільки регулювати (зменшувати) тертя в зоні контакту, але і відновлюється (заліковувати) поверхневі мікродефекти і вирівнювати геометричний зніс контактують поверхностей тертя.

З перерахованих вище препаратів, безумовно, кожен має свою рекомендовану сферу застосування, однак умови їх застосування неоднакові. Деякі з них доцільно застосовувати на етапі обкатки механізму, інші на етапі нормального, сталого зносу, а наступні - на етапі ремонту і відновлення механізму без розбирання і т.д.

Головним недоліком наявних препаратів є обмеження їх дії за термінами, а так само складність у виборі самих термінів їх дії. Тому актуальним є питання про створення препаратів, однаково продуктивно керуючих тертям і зношуванням як на етапі підробітки, так і на етапі нормальної (штатною) експлуатації, а так само ремонту та відновлення зношених поверхонь деталей без розбирання вузла тертя.

За основним призначенням добавки умовно об'єднують в кілька груп.

Розглянемо деякі з них.

Добавки, які поліпшують мастильні властивості. Їх дія обумовлена утворенням на тертьових металічних поверхнях різних за хімічним складом захисних плівок.

Протизношувальні добавки зменшують знос поверхонь тертя при відносно помірних навантаженнях і температурах. До таких добавок відносяться оливи і жири рослинного, і тваринного походження (наприклад, гірчична олива, свинячий жир); вищі жирні кислоти (наприклад, олеїнова) і ефіри (наприклад, складний ефір пентаеритриту і себацінової кислоти), з'єднання містять S, P (наприклад, трикрезилфосфат); S і P (наприклад, дізооктил - дітіофосфат, діалкілтіофосфат, цинк-барисва-сіль ізобутилового ефіру арілдітіофосфорної кислоти), N (наприклад, 1-бутілбензотріазол) і т.д. Концентрація протизношних добавок в мастильних матеріалах коливається від 0,1 до 3,0%.

Протизадирні добавки забезпечують нормальну роботу при високих навантаженнях, що труться без задирака і заїдання, а також пом'якшують його, якщо воно відбувається. Цим цілям служать сполуки, що містять S, Cl, S, P і ін. Концентрація даного типу добавок не перевищує 3 - 5%.

Антифрикційні добавки призначені для зниження (модифікації) тертя сполучених поверхонь. До таких модифікаторам відносяться вищі жирні кислоти (наприклад, стеаринова), та нафтових кислот (наприклад, стеарат Al, нафтенат Pb), ефіри гліцерину і жирні аміни, колоїдні дисперсії MoS₂, Графіту та інших з'єднань, нерозчинних в мастильних матеріалах (більш перспективно застосування речовин, утворюють з ними стійкі розчини, особливо ряду з'єднань Mo). Концентрація антифрикційних добавок, як правило, 0,1 - 0,5%.

В'язкі або згущуючі добавки підвищують в'язкість і покращують в'язкісно температурний властивості мастильних матеріалів. В якості таких добавок застосовують володіють великою в'язкістю різні полімери-головним чином

поліізобутилен, поліметакрилат, полівінілбутиловий ефір, а також поліалкілстіроли і т.д. Концентрація цих добавок в оліях від 1 до 20%.

Металозахищуючі добавки знижують знос важконавантажених вузлів тертя за рахунок утворення на сполучених поверхнях тонкої металевої плівки, званої сервовітної.

Багатофункціональні добавки мають здатність одночасно покращувати кілька властивостей мастильних матеріалів, замінюючи цілі композиції вводячись в них до надбавок, застосування яких дороге і незручно, а ефективність дії знижується внаслідок взаємного, часто протилежного впливу компонентів.

Багатофункціональні добавки являють собою суміші добавок різної дії (змішані, або комплекені добавки) або органічні сполуки, що містять Ca, P, метали, полярні функціональні групи.

Індивідуальні багатофункціональні добавки - в основному миючі: сукциніміди (здатні нейтралізувати кислі з'єднання, що накопичуються в мастильних матеріалах, і, крім того, покращують їх в'язкі властивості), сіль діалкіларід - дітіофосфорної кислоти (підвищує стійкість до окислення, покращує миючі протизносні властивості), діалкілдитіофосфату (покращує антиокислювальні, протизносні та антикорозійні властивості) і т.д. Концентрація багатофункціональних добавок 0,5 - 5,0%.

Природні Геомодифікатори тертя (ГМТ) - мінеральні ремонтно-відновлювальні склади на базі порошків серпентиніта. Концентрація добавок ГМТ до 5%. Вплив даних препаратів на зношені поверхні в даний час досліджено недостатньо повно. Проведені поодинокі експериментальні дослідження, як на стендах, так і натурні випробування на реальних об'єктах і машинах, не дозволяють зробити однозначні висновки про характер впливу на вузли тертя з точки зору його залишкового ресурсу. Неграмотне використання цих препаратів здатне не тільки різко зменшити ефект впливу, але і привести до негативних наслідків, аж до аварійного руйнування механізму.

Антифрикційні препарати є ефективним засобом підвищення ресурсу механізмів, проте їх застосування вимагає відповідної методики і дозування, що залежить від вихідного стану об'єкта, його застосування, титру, робочого об'єму мастильного матеріалу, ступеня зносу. Процес застосування препаратів вимагає контролю і з постійною діагностикою та моніторингом.

2.3 Вплив рівня оливи в картері на об'єм мастильного матеріалу і тепловий режим

Кількість циркулюючого в ДВЗ оливи при розрахунку визначають на підставі теплового балансу. Вважається, що для сучасних двигунів теплота, відведена системи мащення, становить:

$$Q_M = (0.015 - 0.02) Q_T, \quad (2.1)$$

де Q_T - кількість теплоти, що підводиться в циліндри двигуна, КДж / год.

$$Q_T = \frac{3600 N_e}{\eta_e}, \quad (2.2)$$

де N_e - номінальна потужність двигуна;

η_e - ефективний ККД.

Для бензинових ДВЗ $\eta_e = 0,25$, для дизельних ДВЗ $\eta_e = 0,35$.

Кількість циркулюючої в ДВЗ оливи ($\text{м}^3/\text{год}$) визначається формулою [47]:

$$V_{\text{ц}} = K \frac{Q_M}{\rho_M \cdot C_M \cdot \Delta T_M}, \quad (2.3)$$

де ρ_M - щільність моторної оливи, $\rho_M = 880-900 \text{ кг / м}^3$;

C_M - теплоємність оливи, $C_M = 2$ кДж / кг К;
 Δt_M - нагрів оливи, $\Delta t_M = 10-15$ К,
 K - коефіцієнт запасу, для бензинових ДВЗ $K = 1$, для дизельних ДВЗ $K = 2,5 - 3$.

При роботі двигуна частина оливи витрачається з системи мащення (внаслідок вигорання, вигоків і ін.). Тому для надійної роботи протягом досить тривалого часу і забезпечення необхідного запасу ходу транспортного засобу потрібну кількість оливи в системі мащення m^3 / год:

$$V_D = (2 - 3.5)V_{\text{ч}}. \quad (2.4)$$

з урахуванням цього для дизельних ДВЗ:

$$V_D = (55 - 65) \cdot 10^{-3} \cdot N_e. \quad (2.5)$$

Розрахунки за цими формулами показують, що для базового двигуна КАМАЗ-740 з потужністю 215 к.с. встановить 14 м^3 /год, а для двигуна КАМАЗ-ЄВРО з потужністю 420 к.с. - 27 м^3 /год (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

- Співвідношення параметрів мастильних систем двигунів КАМАЗ

Параметри	Базовий (б)	Форсований (ф)	Відношення (б/ф)
Потужність, к.с.	215	420	1,953
Продуктивність оливного насоса, м ³ / год	5,1	9,0	1,764
Оборотність оливи, раз / год	182	265	1,46
Об'єм системи мащення, л	28	34	1,214

З урахуванням цих значень і продуктивності масляних насосів цих двигунів КАМАЗ-740 - $5,1 \text{ м}^3 / \text{год}$ і КАМАЗ-Євро - $9 \text{ м}^3 / \text{год}$, оборотність об'єму оливи складе відповідно 2,745 і 3 рази за годину. Відно, що це співвідношення 1,09 не

відповідає співвідношенню потужностей 1,953. Отже, при однаковому об'єму системи мащення у відповідності і з формулою (2.3) збільшиться приріст температури оливи.

Це призводить до інтенсифікації процесу старіння оливи і вимагає застосування на форсованих турбонаддувом двигунах інших оливи (групи Д). Таким чином, оптимальний рівень оливи системи мащення двигуна

визначається видом оливи, продуктивністю оливного насоса, потужністю двигуна і режимами його роботи.

Розглянемо вплив об'єму оливи в системі мащення (з урахуванням зв'язку об'єму оливи з рівнем по оливовимірюючому щупу) на температуру оливи. З формули (2.3) випливає:

$$\Delta t_M = \frac{K \cdot Q_M}{\rho_M \cdot C_M \cdot V_{\text{ч}}} \quad (2.6)$$

Тобто, приріст температури обернено пропорційний об'єму оливи, що в загальному вигляді можна записати:

$$\Delta t_M = \frac{a}{V_{\text{ч}}} \quad (2.7)$$

де a - константа, що враховує конструктивні і режимні параметри ($\text{м}^3 \text{ К} / \text{год}$):

$$a = \frac{K \cdot Q_M}{\rho_M \cdot C_M} \quad (2.8)$$

Таким чином, температура оливи при незмінних параметрах теплообмінника обернено пропорційна об'єму оливи в системі мащення.

Ресурс двигуна визначається інтенсивністю зношування деталей в основному шатунно-кривошипно-і циліндро-поршєнової групи. Залежність інтенсивності

зношування від температури оливи в робочому діапазоні 80 -140 °С можна прийняти лінійною:

$$\alpha = \alpha_0 + c \cdot t_M, \quad (2.9)$$

де α_0 - інтенсивність зношування (мкм / тис. Км) при $t_M = 80$ °С;

c - коефіцієнт пропорційності (мкм / тис. Км) / град.).

З урахуванням залежностей (2.7) і (2.9) отримаємо:

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{d}{V_{\text{ч}}}, \quad (2.10)$$

де d константа (мкм / тис. км м³ / год):

$$d = c \cdot \alpha. \quad (2.11)$$

Термін служби оливи (періодичність заміни) визначається інтенсивністю старіння, тобто інтенсивністю (або швидкістю) зниження концентрації присадок.

Швидкість більшості реакцій збільшується з ростом температури (термоактивні процеси). Для кількісного опису температурних ефектів в хімічній кінетиці використовуються два основних співвідношення - правило Вант-Гоффа і рівняння Аррєніуса. Правило Вант-Гоффа полягає в тому, що при нагріванні 10 °С швидкість більшості хімічних реакцій збільшується в 2 - 4 рази. Це правило є наближеним,

тому частіше використовують рівняння шведського вченого С. Аррєніуса:

$$\alpha(T) = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (2.12)$$

де R - універсальна газова стала;

A множник, який визначається природою реакції;

E_a - енергія активації;

T – абсолютна температура в К.

З урахуванням рівнянь (2.3) і (2.12) для $\alpha(T)$ запишемо:

$$\alpha(T) = A \exp\left(-\frac{E_a \cdot V}{Ra}\right) \quad (2.13)$$

Характер залежності показаний на рис. 2.1.

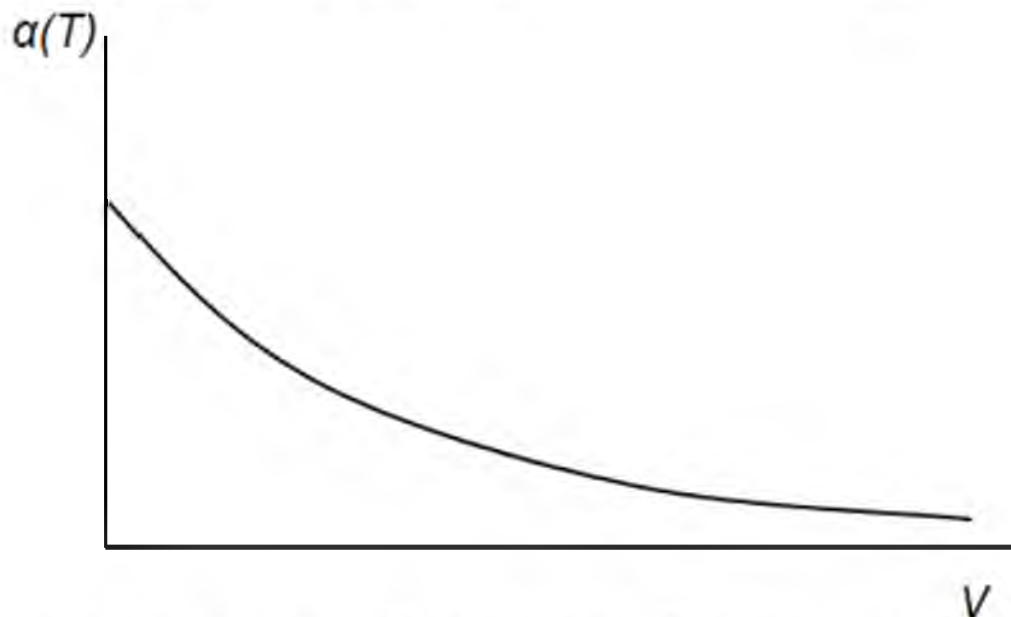


Рис. 2.1 - Характер залежності інтенсивності старіння від об'єму оливи

2.4 Аналітичне дослідження режиму оливоного голодування вузлів двигуна

Температура оливи є основним, але не єдиним параметром, що впливає на технічний стан двигуна, так і термін служби оливи. Великий вплив на ці показники надійності надає режим подачі оливи до вузлів тертя.

При зниженні рівня оливи в картері двигуна крім підвищення температури оливи збільшується ймовірність переривання подачі його в систему і потрапляння повітря, тобто спінювання. Це веде до порушення гідродинамічного режиму змащення вузлів тертя, особливо підшипників колінчастого валу і турбокомпресора і до зниження їх ресурсу. У загальному вигляді з урахуванням цього залежність

інтенсивності зношування деталей вузлів тертя від об'єму (рівня) оливи можна записати.

$$\alpha = \alpha_0 - cV, \quad (2.14)$$

де α_0 - інтенсивність зношування при верхній мітці на оливовимірному щупі (мкм / тис. Км),

c - коефіцієнт пропорційності (мкм / тис. Км) / м³

Область визначення даної функції знизу обмежується мінімальним об'ємом

V_{min} , при якому починається режим переривання оливного потоку або режим

оливного голодування. Величина ця носить імовірнісний характер, так як

визначається режимами роботи двигуна автомобіля (прискорення, уповільнення і

ухили дороги). Область визначення даної функції зверху обмежується

максимальним об'ємом V_{max} при якому починається режим переривання оливного

потoku з-за спінювання внаслідок торкання поверхні палива в картері і противаги колінчатого валу. Схематично ці області показані на рис. 2.2. Низький

підвищений

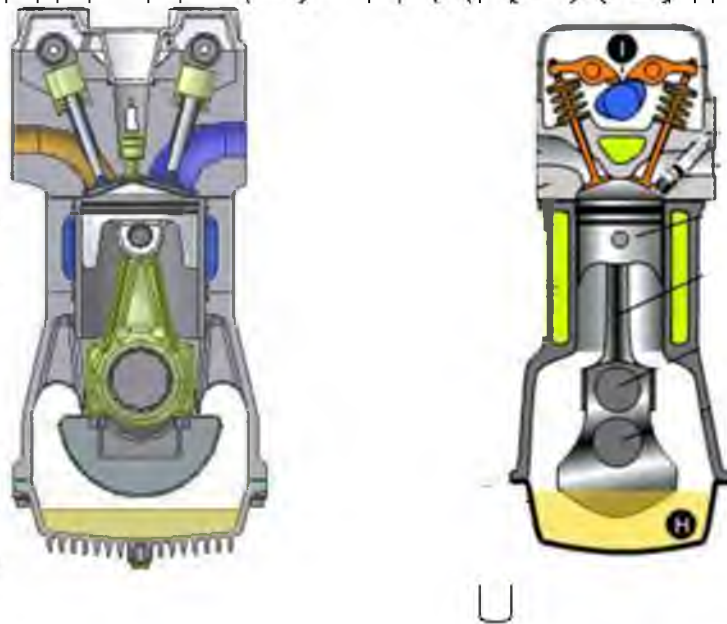
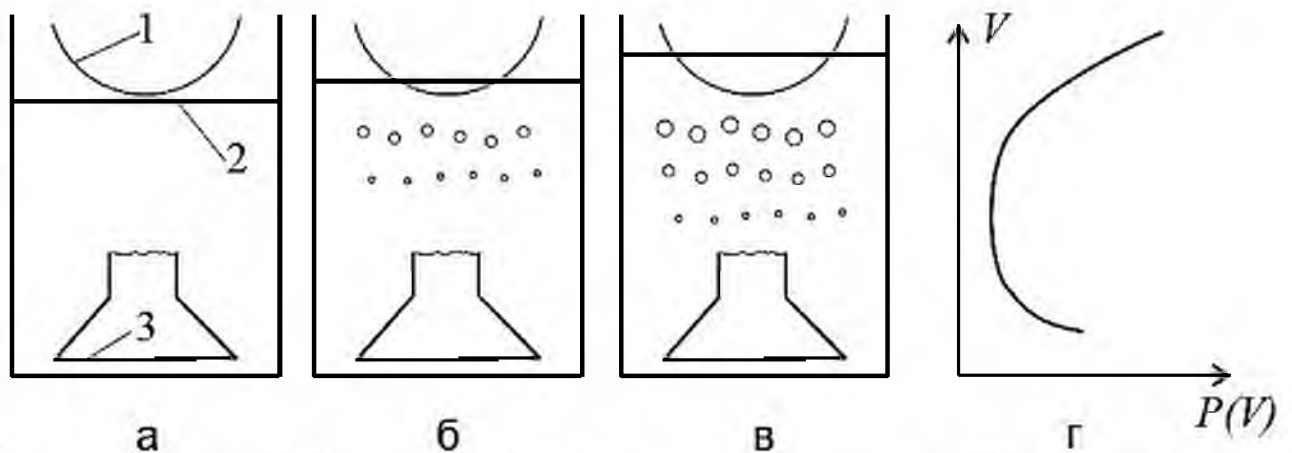


Рис. 2.2 - Схема взаємодії деталей двигуна при низькому і високому рівні

оливи в картері

2.5 Аналітичне дослідження режиму спіновання оливи в картері

При підвищенні рівня (об'єму) оливи в картері вище V_{max} починає змінюватися режим подачі оливи до пар тертя, що виявляється у вспіненні все більшого об'єму оливи і в освіті оливного туману. Ці процеси носять імовірнісний характер, багато в чому визначається часом спіновання певного об'єму оливи. Параметром піноутворення оливи вважають концентрацію всіх розчинених у ньому газів. Ступінь піноутворення оливи зростає з підвищенням рівня вище V_{max} . Так само, як і ймовірність попадання в оливозбирач спіненої оливи (розмір і концентрація бульбашок повітря показані на рис 2.3).



1 - траєкторія руху противаги КВ; 2 - рівень оливи; 3 - рівень оливозбирача

Рис 2.3 - Схема впливу рівня оливи в картері двигуна на його

піноутворення: а - при відсутності контакту противаг з оливами; б - при малому контакті противаг з оливами; в - при великому контакті; г - ймовірність наявності бульбашок повітря в оливі

Внаслідок підвищення піноутворення оливи порушується ламінарний режим надходження його до пар тертя. Потік оливи стає турбулентним, що скорочує його витрату через пари тертя і підвищує інтенсивність зношування. При цьому інтенсифікуються процеси окислення поверхні тертя (Окисне зношування). Це

підтверджується експериментальними даними А.Ф. Аксьонова [7], наведеними на рисунку 2.4.

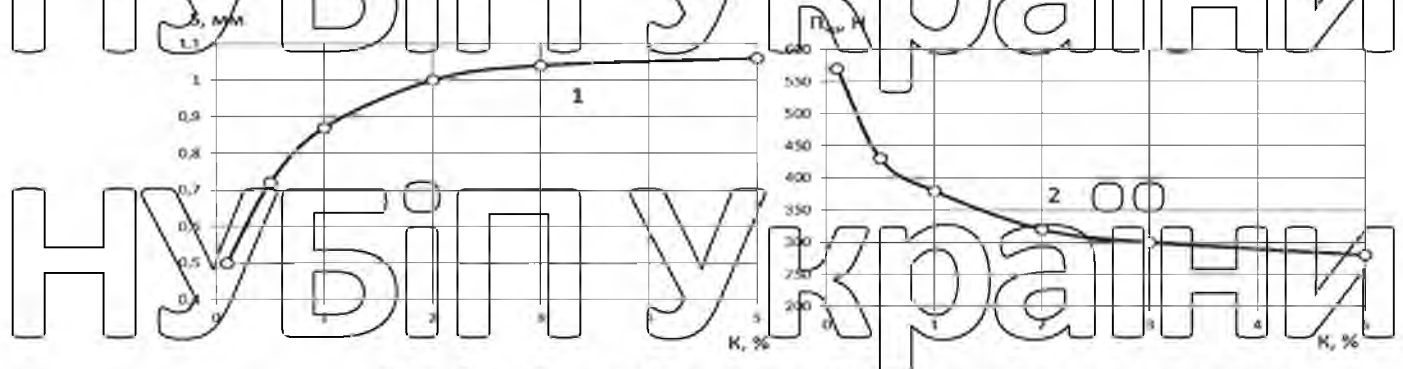


Рис. 2.4 - Залежність зносу (1) і критичного навантаження

(2) при терті пари зі сталі ШХ15 від концентрації розчиненого в паливі Т-7

кисню. Видно, що при підвищенні концентрації кисню з 0,5 до 5% (в десять разів) знос збільшився на 38%.

Залежність інтенсивності зношування від об'єму оливи в цій області визначення функції носить нелінійний характер, тому що ймовірність бульбашок повітря і їх розмір збільшується в міру підвищення рівня оливи в картері. Тому характер залежності α від V можна прийняти експоненціальним:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot e^{fV}, \quad (2.15)$$

де α_0 - інтенсивність зношування при об'ємі оливи по верхній мітці шупа (мкм / тис. Км);

f - експериментальний коефіцієнт ($1 / \text{м}^3$).

Підсумкова залежність інтенсивності зношування від об'єму оливи в картері представляє суму функцій (2.14) і (2.15) (рисунк 2.5).

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_0 - cV + \alpha_0 e^{fV}. \quad (2.16)$$

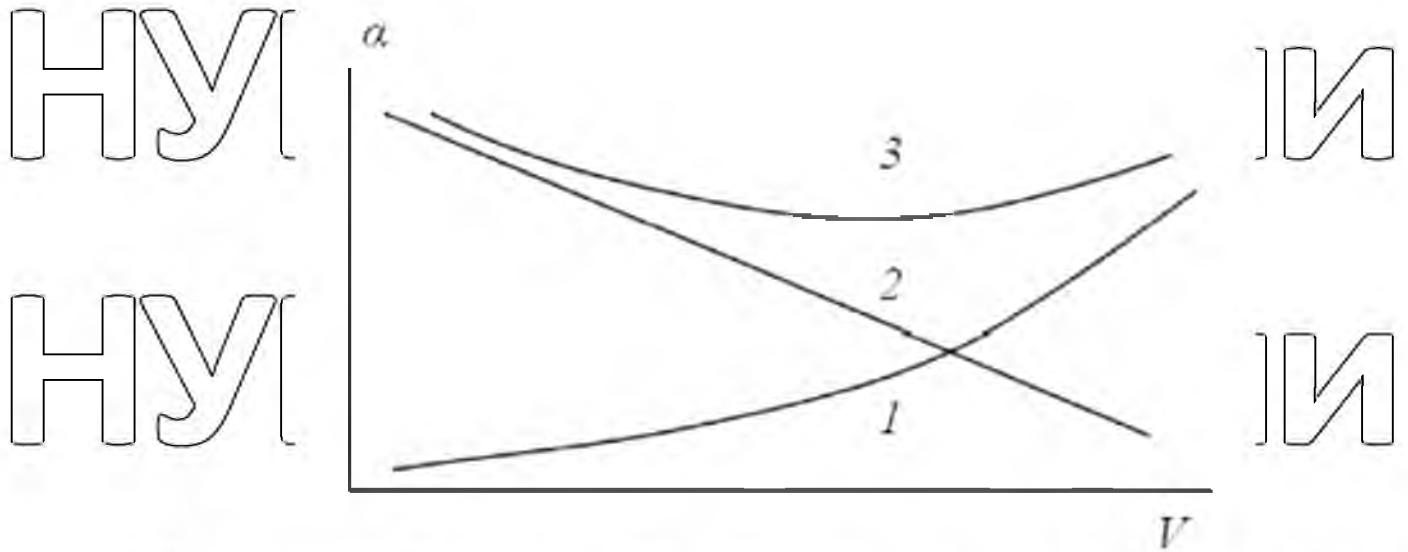


Рис. 2.5 Залежність інтенсивності зношування від об'єму внаслідок спінювання (1), зниження температури (2), підсумкова (3)

Внаслідок спінювання оливи підвищується площа контакту з повітрям

(бульбашки), що веде до підвищення інтенсивно окислення (старіння) оливи.

Залежність цю можна прийняти експоненційно, так як ймовірність зростання щільності бульбашок з ростом об'єму оливи кумулятивної залежності

$$\alpha(T)_2 = A_2 \exp(BV), \quad (2.17)$$

Де B - експериментальний параметр ($1/\text{м}^3$).

Підсумкова залежність інтенсивності старіння оливи являє собою суму двох експонент 2.13 і 2.17 (рисунок 2.6):

$$\alpha(T)_\Sigma = A_1 \exp\left(-\frac{E_a V}{R_a}\right) + A_2 \exp(BV). \quad (2.18)$$

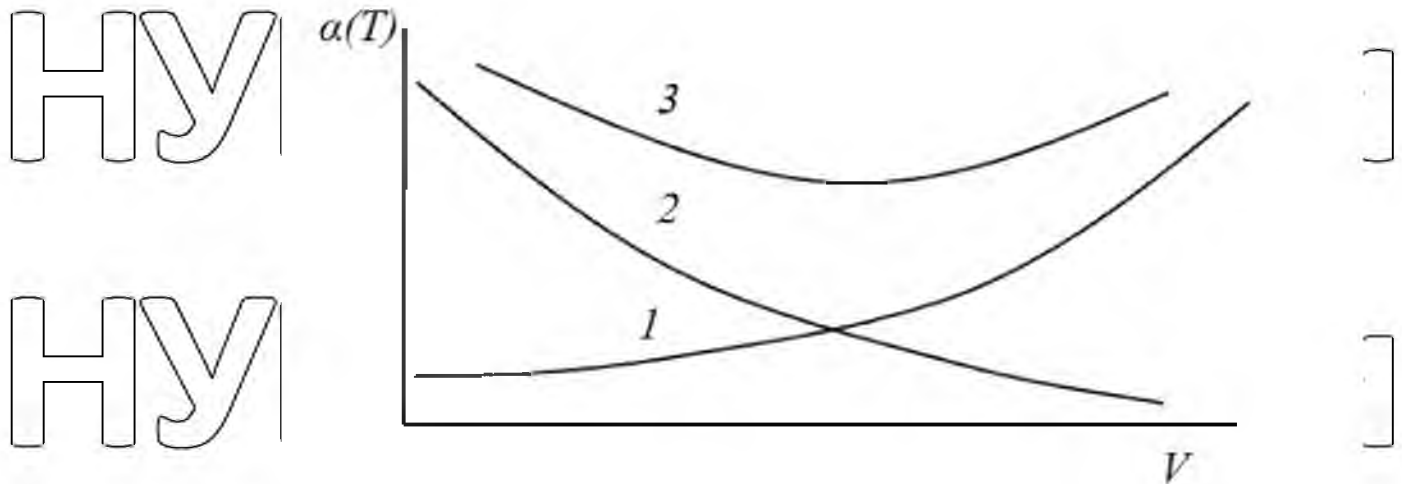


Рис. 2.6. Залежність інтенсивності старіння оливи внаслідок спінювання – 1 – зниження температури – 2 та підсумкової – 3 від об'єму оливи в бартері

Для визначення екстремуму цих функцій необхідно знайти їх похідні і прирівняти їх до нуля:

$$\alpha'_{\Sigma} = -c + \frac{\alpha_0}{f} \cdot e^{fV} = 0, \quad (2.19)$$

$$\alpha'(T)_{\Sigma} = -A_1 \frac{ka}{E_a} \exp\left(-\frac{E_a V}{R_a}\right) + A_2 \frac{1}{B} \exp(BV) = 0. \quad (2.20)$$

Оскільки отримані аналітичні залежності мають складний і мсвірісний характер, то їх для практичних цілей доцільно апроксимувати поліномом другого ступеня:

$$y = a + bV + cV^2, \quad (2.21)$$

де a , b , c - експериментальні параметри, які визначаються методом найменших квадратів.

НУБІП України

2.6 Вплив режиму доливання оливи на ефективність профілактики системи мащення двигуна

На ефективність профілактики системи мащення крім оптимальної періодичності заміни моторної оливи істотно впливає режим доливання оливи для компенсації його чаду. На рисунку 2.7 наведені варіанти доливання оливи.

З рисунку 2.7 видно, що долив оливи підвищує загальний рівень лужного числа (додана площа протилежного штрихування). Триразовий долив оливи ще значніше підвищує лужне число і концентрацію інших добавок.

Однак підвищення кількості долив викликає додаткові труднощі експлуатаційного характеру: підвищуються втрати лінійного часу, підвищується ймовірність внесення додаткових забруднень оливи. Крім того, при рідкісних, але великих за об'ємом доливаючи збільшується відносний час роботи двигуна з рівнем оливи нижче і вище відповідних позначок на оливовимірному щупі. При роботі з низьким рівнем оливи в картері погіршується суцільність подачі оливи, що особливо позначається на надійності шатунних підшипників. При роботі з підвищеним рівнем оливи з'являється піноутворення, що також погіршує умови мащення деталей і підвищує виток через сальники.

Тому технічно доцільно долив виконувати при досягненні рівня оливи нижньої мітки і доводити його до рівня верхньої мітки. З урахуванням середнього віку автомобілів прийmemo середню витрату оливи на чад, рівний 1% витрати палива (Рисунок 2.8).

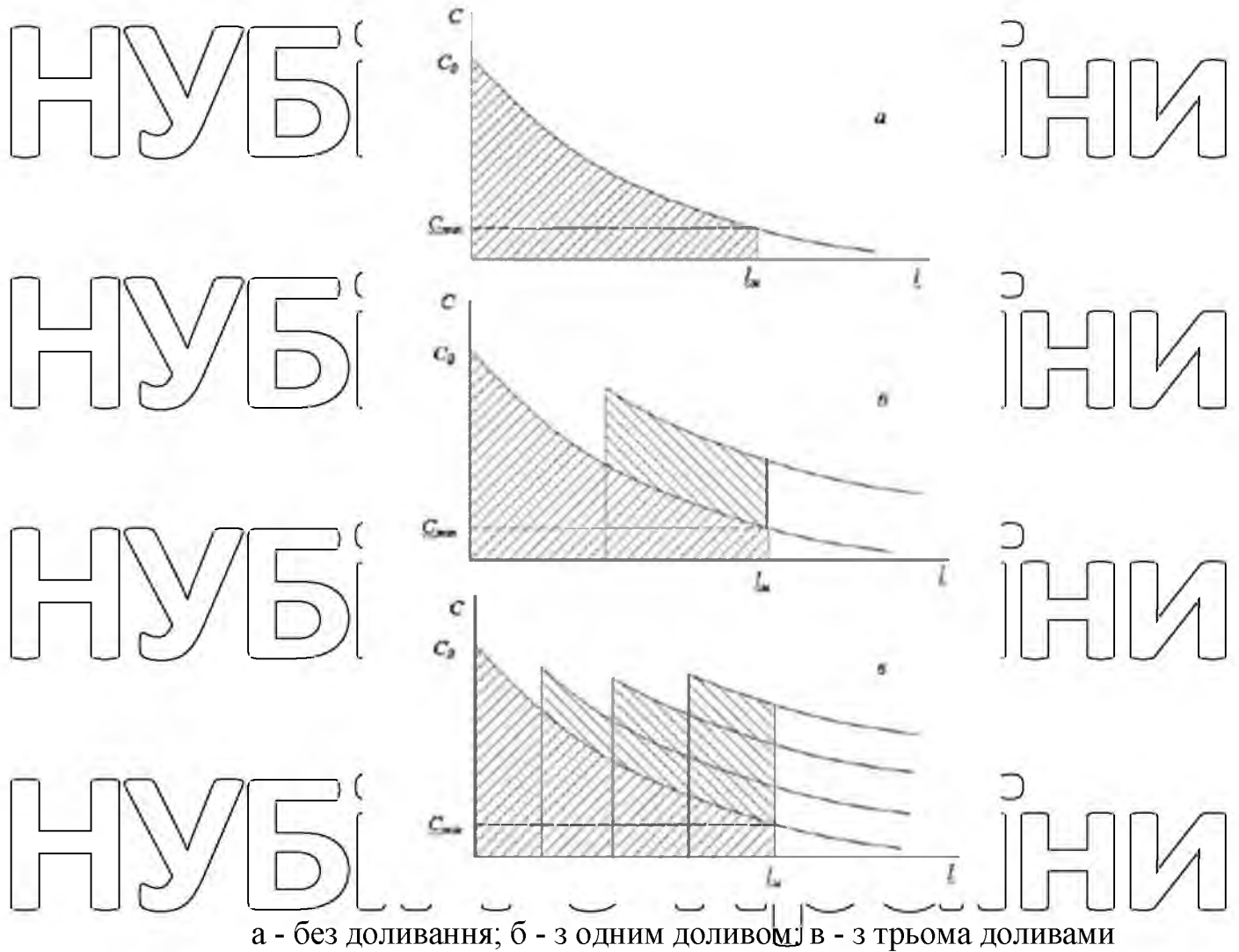


Рис. 2.7 - Залежність лужного числа оливи за термін його служби l_M

Середня витрата палива автомобіля КАМАЗ - 6520 становить 40 л/100 км. Середній пробіг автомобілів за місяць становить 4000 км, а витрата палива за місяць становить 1600 л. При цьому витрата оливи за місяць становить 16 л (1%) для ЄВРО 2, витрата оливи на над 0,2% від витрати палива, а двигуни без наддуву - 0,3-0,5% на час від палива. Долив оливи, зазвичай виробляють по мітках на оливівимірному щупі. Різниця в об'ємі оливи в картері між верхньою і нижньою мітками становить 4 л. З урахуванням наведених значень напрацювання, долив оливи об'ємом 4 л, виконується в середньому через 1000 км.

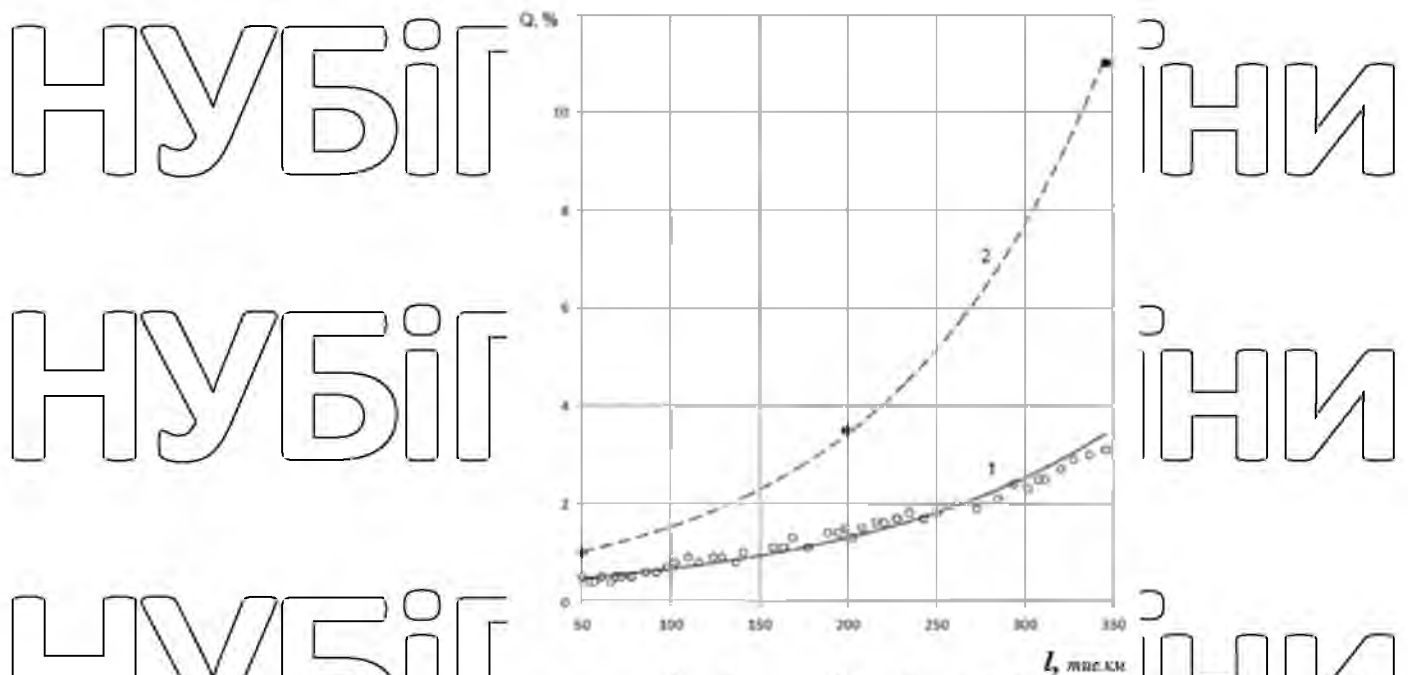


Рис. 2.3 - Залежність величини витрати оливи на чад у відсотках від витрати палива двигунів КАМАЗ від пробігу автомобіля: 1 КАМАЗ-ЄВРО; 2 - КАМАЗ-740

При зазначених значеннях витрати оливи на чад весь об'єм картера двигуна 32 л буде витрачено через 8000 км. Долив оливи через 1000 км, дозволяє продовжити пробіг до заміни оливи до 16-20 тис.км. При цьому концентрація добавок, в тому числі і служб. число, буде знижуватися. Концентрація добавок буде змінюватися при черговому доливі по співвідношенню:

$$p_0 = \frac{V_1 p_1 + V_2 p_2}{V_1 + V_2}, \quad (2.22)$$

де p_0 - концентрація добавок після доливання;

p_1 - концентрація добавок в залишку об'єму оливи;

p_2 - концентрація добавок в доливаєть оливи;

V_1 - залишковий об'єм;

V_2 об'єму доливаного оливи.
 Наприклад, при першому доливанні в об'ємі $V_2 = 4$ л з концентрацією присадки $p_2 = 10$ до об'єму $V_1 = 30$ л з концентрацією присадки $p_1 = 9$ концентрація

присадки p_0 в загальному об'ємі 32 л складе за формулою (2.2 2) 9,12.

Крім концентрації добавок в оливі режим доливання визначає загальний об'єм оливи в картері, який впливає на інтенсивність зношування деталей двигуна і старіння оливи. Вплив кількості та об'єму доливання оливи на його середній об'єм в картері можна бачити з рисунку 2.9.

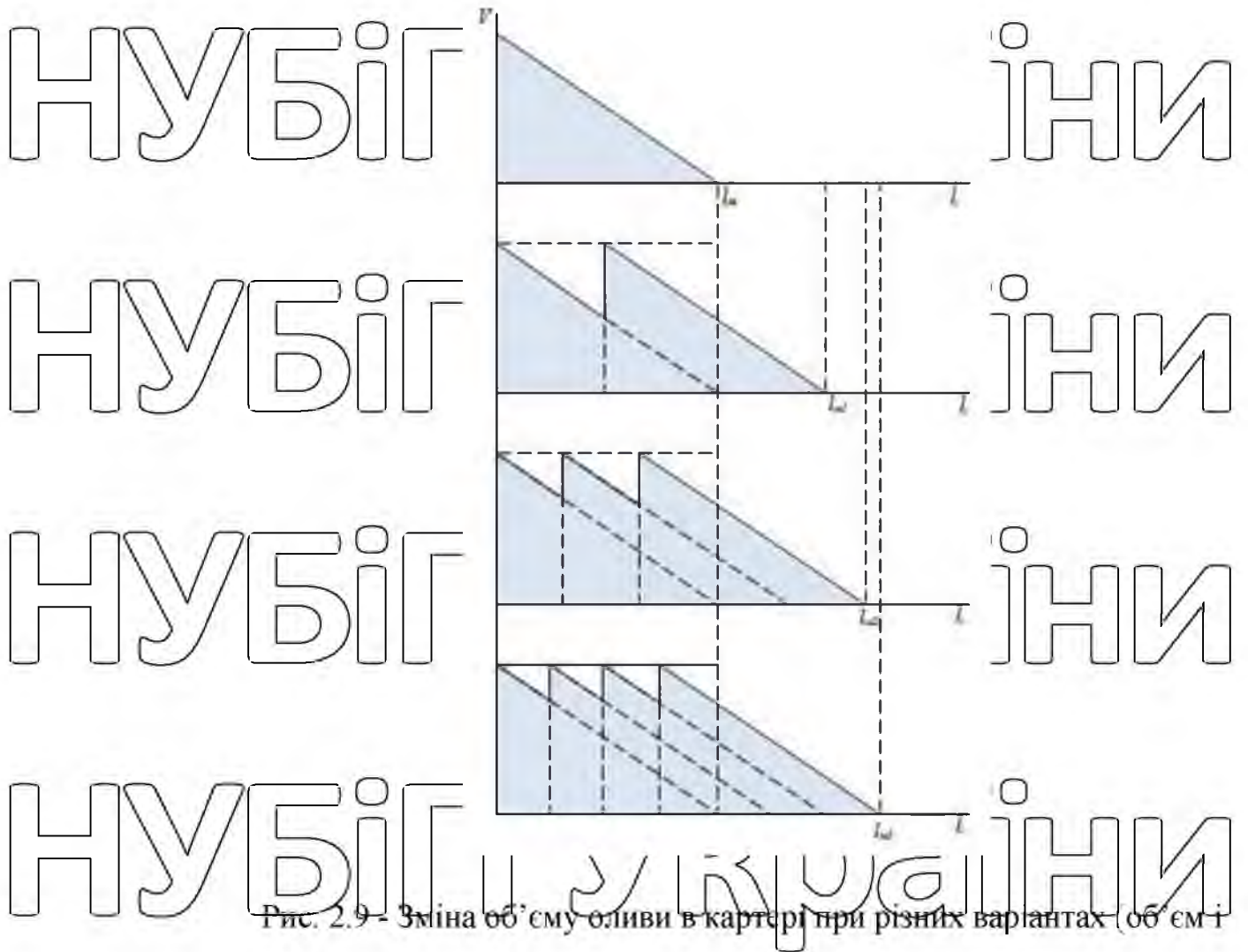


Рис. 2.9 - Зміна об'єму оливи в картері при різних варіантах (об'єм і періодичність) доливання

НУБІП України

Видно, що зі збільшенням кількості доливаючи оливи, а, отже, і скороченням періодичності і об'єму доливання, підвищується об'єм оливи в картері (затінена площа).

Про інтенсивність старіння оливи можна судити по кривій зміни показників стану на заданому пробігу. За інтенсивність зношування деталей двигуна можна прийняти інтенсивність зміни таких діагностичних параметрів, як тиск в системі мащення і витрата оливи на чад. Тиск в системі мащення і пов'язано з зазором в підшипниках колінчастого валу, а отже, і зносом вкладишів і шийок, статечної залежністю, в результаті чого знижується з ростом пробігу (наробітку) двигуна по

експоненціальній залежності

$$P = \frac{a}{S_0^m e^{mbL}} = P_0 e^{-b_p L}, \quad (2.23)$$

де $P_0 = a/S_0^m$ тиск в кінці приробітку, приведене до початку експлуатації; $b_p = mb$ - експериментальний параметр; S_0 - зазор в кінці підробітки.

Тому інтенсивність зношування підшипників колінчастого валу може бути оцінена по інтенсивності зниження тиску в системі мащення.

Витрата оливи на чад обумовлений торцевим зношуванням поршневих кілець і канавок поршня. З ростом пробігу витрата оливи на чад зростає по експоненційній залежності, що узагальнено можна записати у вигляді:

$$y = y_0 e^{bl}, \quad (2.24)$$

де y_0 - значення показника (витрати оливи) в кінці підробітки, приведене до початку експлуатації; b - параметр, характеризує вплив зносу на інтенсивність зміни технічного стану.

Тому інтенсивність зношування циліндро-поршневої групи двигуна можна оцінювати за інтенсивністю росту витрати оливи на чад.

2.7 Висновки по розділу

1. Оборотність об'єму оливи в разях за годину залежить від об'єму оливи в картері і продуктивності масляних насосів і становить 2,74 у двигунів КАМАЗ -740 5 і 3 для КАМАЗ-ЄВРО. Таке співвідношення 1,09 не дорівнює співвідношенню потужностей 1,953. Таким чином, при роботі двигуна, враховуючи однаковий об'єм системи мащення, збільшиться приріст температури оливи в ній. Це призведе до інтенсифікації процесу старіння оливи і підвищенню інтенсивності зношування деталей двигуна.

2. Температура оливи і інтенсивність зношування деталей двигуна при незмінних параметрах теплообмінника обернено пропорційні об'єму оливи в мастильній системі.

3. Підсумкова залежність інтенсивності зношування від об'єму оливи в картері представляє суму функцій (2.14) і (2.15), а підсумкова залежність інтенсивності старіння оливи є сумою двох експонент 2.13 і 2.17.

4. Для практичного використання при оптимізації об'єму оливи в картері залежність інтенсивності зношування та інтенсивності старіння оливи від його об'єму доцільна функція у вигляді полінома другого ступеня (2.21).

5. Доцільно долив виконувати при досягненні рівня оливи нижньої мітки і доводити його до рівня верхньої мітки.

З урахуванням середнього віку автомобілів середня витрата оливи на чад становить 1% від витрати палива. При цьому весь об'єм картера двигуна буде витрачено через 8000 км. Долив оливи через 1000 км, дозволяє продовжити пробіг до заміни оливи до 16 - 20 тис. км. При цьому концентрація присадок, в тому числі і лужної, буде знижуватися.

6. Для зниження негативного впливу безлічі факторів суб'єктивного і об'єктивного характеру доцільно використовувати автоматичний пристрій-регулятор рівня моторної оливи (РУМ) в картері двигуна.

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

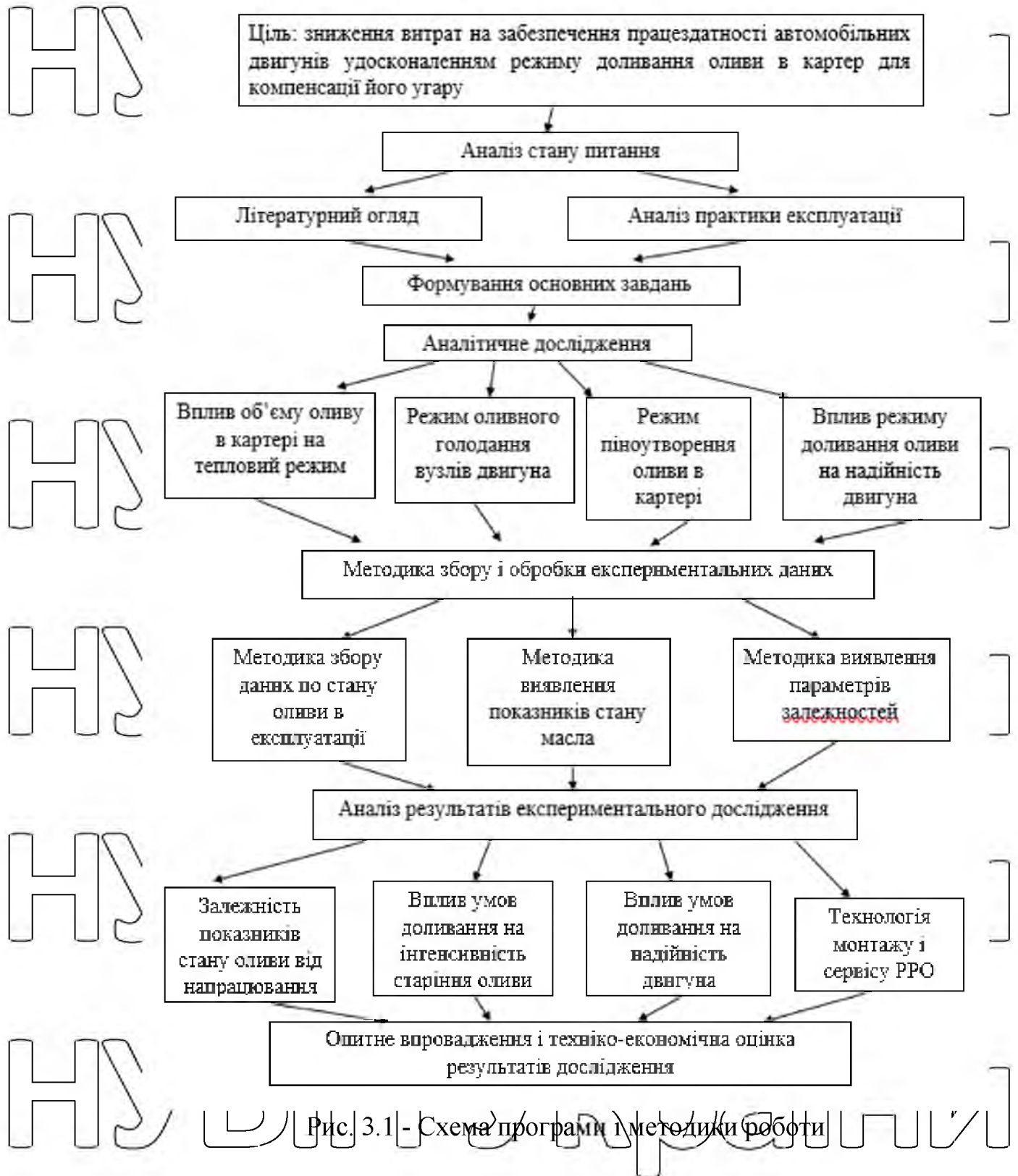
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма та загальна методика роботи

Відповідно до поставленої мети і сформульованими завданнями дослідження розроблена програма, що включає етапи теоретичних, експериментальних досліджень і практичних рекомендацій (рисунок 3.1).

На етапі аналітичних досліджень проведено аналіз умов роботи елементів мастильних систем форсованих двигунів; обґрунтовано математичні моделі зміни основних показників ресурсу двигунів і моторної оливи в залежності від об'єму оливи в картері. Вид цих моделей визначається за результатами співвідношення диференціальних рівнянь, враховують вплив основних факторів на інтенсивність зношування деталей двигуна і старіння моторної оливи. Ці моделі носять стохастичний характер, тому що обумовлені дією багатьох, в тому числі і випадкових факторів, таких як режим роботи двигуна, температура навколишнього середовища, технічний стан деталей двигуна.

Після обґрунтування математичних моделей для реальної оцінки стану моторної оливи в процесі експлуатації визначали їх параметри за експериментальними даними.



Для визначення експериментальних даних по фактичному стану моторної оливи розроблені відповідні методики експлуатаційних досліджень, зміст яких наведено нижче.

На основі результатів експериментальних досліджень розроблено: рекомендації щодо вдосконалення заходів для підтримки функціонального стану системи мащення оптимізацією режимів доливання оливи (періодичність та об'єм) і установкою на автомобіль регулятора рівня оливи (РУМ). За результатами впровадження дається техніко-економічна оцінка результатів досліджень.

3.2 Методика аналітичного дослідження

Основним джерелом тепловидведення від підшипників колінчастого валу і циліндро-поршневої групи є циркулююча олива, яка компенсує їх нагрівання і відводить тепло, яке вирізняється від роботи тертя. Визначальним фактором, що впливає на надійність двигуна, є температура вузлів тертя. З огляду на це для аналітичного опису зміни показників стану оливи в процесі експлуатації необхідно враховувати теплову напругу деталей, яка підвищується при утворенні і зростанні відкладень.

Для отримання аналітичних залежностей інтенсивності зношування деталей і старіння оливи від об'єму оливи в картері були складені відповідні диференціальні рівняння. При складних з математичної точки зору рівняннях використовуються апроксимуючі залежності.

3.3 Технічна база досліджень і методи визначення показників

Лужне число оливи виражається через кількість (в мг) гідроксиду калію (KOH), еквівалентну змістом всіх видів лугів в 1 г оливи, тобто розмірність (мг KOH / г).

Кінематична в'язкість оливи виражається в сСт і визначається відповідно ГОСТ 33 -2000. Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості.

Температура спалаху у відкритому тиглі (рисунк 3.2) оливи вимірюється в °С і визначається відповідно до ГОСТ 4333 -87. Нафтопродукти. Метод визначення температур спалаху і займання у відкритому тиглі.



Рис. 3.2 - Установка для визначення температури спалаху у відкритому тиглі типу ТВС

Суть методів полягає в нагріванні проби нафтопродукту в відкритому тиглі зі встановленою швидкістю до тих пір, поки не відбудеться спалах парів (температура спалаху) нафтопродукту над його поверхнею від запального пристрою і поки при подальшому нагріванні не загориться продукт (температура займання) з тривалістю горіння не менше 5 с.

Забрудненість оливи вимірюється в см^{-1} . Визначається відповідно до ЦТЧ - 28/8. Методика оцінки забрудненості робочих мастильних олив фотометричним методом.

Забрудненість визначається при просвічуванні кювети з оливам променями галогенової лампи. При цьому визначають спектральний діапазон хвиль. За ставлять в комплекті з приладом (рисунок 3.3) програмне забезпечення для персонального комп'ютера дозволяє відображати, зберігати і роздруковувати результати відповідно до стандарту GLP.

Лужне число оливи, що вимірюється в мгКОН/г , визначається у відповідності з п.10.6. ГОСТ 1362 -96 Нафтопродукти та мастильні матеріали. Число нейтралізації. Метод потенціометричного титрування (рисунок 3.4).



Рис. 3.3 - Установа для вимірювання забрудненості оливи спектрофотометр

PE 5300B



Рис. 3.4 - Установка для вимірювання лужного числа - Іономір I-160

В основу роботи приладу покладено потенціометричний метод вимірювання рН контрольованого розчину. При вимірюванні рН використовується електродна система з вимірювального і допоміжного електрода. При зануренні електродної системи в розчин, вона розвиває ЕРС, лінійно залежить від концентрації і температури розчину.

Щільність оливи вимірюється в кг/дм^3 при 20°C і визначається за ГОСТ 3900-85. Нафта і нафтопродукти. Методи визначення щільності (рисунок 3.5).



Рис. 3.5 - Ареометр АН - для визначення щільності моторних олив

При зануренні ареометра (нафтоденсиметра) в випробівний олива рівень повернулі вказує на шкалі щільність.

Масова частка води в % визначається відповідно до ГОСТ 2477-65.

Нафтопродукти. Метод визначення вмісту води (рисунок 3.6). Дистиляційний посудину нагрівають. Пальник поступово піднімають і стежать за швидкістю дистиляції, яка не повинна перевищувати 5 крапель в 1 с. По регонку припиняють, як тільки об'єм води в приймачі-ловушці не збільшуватиметься і верхній шар розчинника стане абсолютно прозорим. Кількість води визначають за допомогою мензурки.



Рис. 3.6 - Установка для визначення складу води в оливі

Кінематична в'язкість по ГОСТ 33 -2000 визначається з допомогою рідинних термостатів, містять систему віскозиметрів (рисунк 3.7). Суть методу полягає у вимірюванні каліброваним скляним віскозиметром часу закінчення (в секундах) певного об'єму випробуваної рідини під впливом сили тяжіння при постійній температурі. Кінематична в'язкість є твором виміряного часу закінчення на постійну віскозиметра.



Рис. 3.7 - Термостат рідинної ВІС-Т-03 для визначення кінематичної в'язкості нафтопродуктів типу ВПЖ -2 або ВПЖ-4

Таким чином, запропонована програма і методика дослідження дозволяють оцінити зміну становища моторної оливи в процесі роботи і визначити нормативні (граничні) значення показників стану оливи, при яких його доцільно замінювати, а також параметри доливання оливи для компенсації його чаду.

3.4 Методика експериментального дослідження

Для експериментальної оцінки зміни показників стану моторної оливи в процесі експлуатації було організовано спостереження за 28 автомобілями КАМАЗ -Євро протягом трьох років. Аналіз проб оливи проводили на 28 автомобілях через 2 тис. км пробігу оливи. Всього було проаналізовано понад 180 проб оливи об'ємом 1,5 л кожна.

Використовували оливу Shell Rimula R5 X SAE 15W40, яке є аналогом оливи M10Д (м) по ГОСТ 8581. При аналізі проб оливи визначали: кінематичну в'язкість, сСт; температуру спалаху у відкритому тиглі, °С; забрудненість, см^{-1} ; лужне число, $\text{мг КОН} / \text{г оливи}$; щільність при 20 °С, $\text{г} / \text{дм}^3$; масову частку води, %. Параметри визначали за загальноприйнятою в лабораторії методикою, яка докладніше викладена нижче.

Про наявність палива в оливі можна судити по зміні його в'язкості. Порівнюючи залежності зміни в'язкості для нормальної роботи двигуна і отримання для даної напрацювання при контролі оливи, можна судити про його стан. Існує правило, що олива потрібно міняти, якщо в'язкість знизилася більш ніж на 25%.

Також небажано і збільшення в'язкості оливи в процесі експлуатації. Загустіння оливи, як правило, пов'язано з попаданням в нього великої кількості забруднень. Вважають, що олива підлягає заміні, якщо його в'язкість зросла більше, ніж на 35%.

Наявність палива в оливі можна також виявити по зміні температури спалаху у відкритому тиглі. Визначаючи температуру спалаху працюючої оливи і порівнюючи її з значеннями, отриманими для свіжої оливи, розбавляємо відомою кількістю палива, можна орієнтовно оцінити кількість палива в оливі. Точність такого методу, особливо для дизелів, невисока, що пов'язано з тим, що дизельне паливо і олива можуть містити однакові або подібні вуглеводні. Більш точні результати для дизелів можна отримати, використовуючи метод ASTM D3524-86.

Цей метод полягає в газах хроматографічному поділі вуглеводнів суміші оливи з п-деканом з подальшою їх ідентифікацією. Калібрування хроматографа здійснюється за допомогою, як мінімум, трьох сумішей, що містять від 0 до 12% дизельного палива, того ж, на якому працює дизель, з таким же, як в двигуні свіжим оливам.

Термін служби оливи в значній мірі залежить від накопичення в ньому нерозчинних забруднень. Одним з давно розроблених методів визначення вмісту нерозчинних частинок є метод «крапельної проби». Краплю відпрацьованої оливи за допомогою щупа, капають на особливий тип фільтрувального паперу. У сучасному варіанті суть методу полягає у вимірюванні за допомогою приладу непрозорості в декількох областях нанесеного плями шляхом його просвічування світловим потоком. Концентрація нерозчинних продуктів розраховується за калібрувальним даними приладу. Метод дозволяє встановити концентрації нерозчинних продуктів в межах 0,2 ... 3,5% мас.

Виділення нерозчинних частинок з відпрацьованої оливи може бути також здійснено центрифугуванням. Для цього зразок оливи розчиняють п-пентаном, п-гептаном або бензолом, а для придушення дії диспергируючих присадок додають коагулянт (п-бутілдіетаноламін). При центрифугуванні залишок зважують. Різниця між залишками при використанні в якості розчинника п-пентану і бензолу може вказувати на кількість смол і окислених продуктів, що містяться в оливі і розчинних в бензолі.

Кількість нерозчинних продуктів в якій працював масло може бути також визначено шляхом фільтрування його через фільтр Millipore з подальшим його зважуванням.

Одним з найбільш об'єктивних методів визначення вмісту нерозчинних частинок в якій працював оливи вважається термогравиметричний метод. При використанні цього методу близько 50 г оливи нагрівають в струмені азоту до 650 °С зі швидкістю 50 °С в хвилину. Після витримки зразка при 650 °С протягом 5 хвилин оцінюють його масу. Потім в струмінь азоту вводять 100% повітря для

окислення частинок нагару. Частку повітря а поступово збільшують до %. Коли маса зразка стабілізується, аналіз вважається закінченим. Цей метод дозволяє встановити як повну масу нерозчинних частинок, так і коксових продуктів, що окислюються повітрям.

Для оцінки впливу режиму доливання весь об'єм вибірки спостережуваних автомобілів (28 одиниць) був розділений на чотири групи в залежності від середнього об'єму доливання оливи. У першій групі об'єм доливання за один раз оливи був від 1,5 до 3,5 л; у другій групі - від 3,5 до 5,5 л; в третій групі - від 5,5 до 7,5 л; в четвертій групі - від 7,5 до 10 л. У кожній групі фіксували середню за рейс

температуру оливи в картері і тиск в системі мащення. Для вимірювання температури використовували термометр, який встановлювали на місце оливовимірального щупа. Тиск оливи визначали за штатним манометром автомобіля на щитку приладів автомобіля. Температура оливи свідчить про його об'єм і аерацію. Зниження тиску оливи за період спостережень (три роки) багато в чому обумовлено зносом деталей, особливо підшипників колінчастого валу. Витрата оливи на угар визначали за об'ємом долиного до верхньої мітки на щупі. Інтенсивність старіння оливи прямо пропорційна температурі, тому з ростом об'єму доливної оливи вона також буде зростати.

Таким чином, запропонована програма і методика дослідження дозволяють оцінити зміну стану моторної оливи в процесі роботи і визначити нормативні (граничні) значення показників стану оливи, при яких його доцільно замінювати, а також параметри доливання оливи для компенсації його чаду.

3.5 Висновки по розділу

1. Відповідно до поставленої мети і сформульованими завданнями дослідження розроблена програма, що включає етапи теоретичних, експериментальних досліджень і практичних рекомендацій. ○○

2. Розглянуто технічна база, необхідна для проведення досліджень, а також методи визначення необхідних показників оливи відповідно до програми досліджень.

3. Розроблено методика експериментальних досліджень зміни показників стану моторної оливи в процесі експлуатації і впливу режиму доливання оливи на його показники.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Залежності показників стану оливи від напрацювання

Зібрані і оброблені за наведеною в розділі 3 методикою експериментальні дані дозволили отримати параметри залежностей показників стану оливи від напрацювання (Таблиця 4.1). Самі залежності наведені на рисунках 4.1 - 4.4.

Таблиця 4.1

Параметри залежності показників стану моторної оливи від напрацювання

Показники стану*	a	b	c	d	R^2
η , сСт	15,01	-0,728	0,0695	-0,0022	0,961
C , мг КОН/г	10,037	-0,616	0,048	-0,0014	0,952
t_b , °C	229,8	-5,591	0,69	-0,0254	0,98
Z , см ⁻¹	52,46	55,6	-3,45	0,0173	0,883
ρ , кг/м ³	884,2	-1,505	0,168	-0,007	0,982

* η – кінематична в'язкість, сСт; C – лужне число, мг КОН/г; t_b – температура спалаху, °C; Z – забруненність, см⁻¹; ρ – щільність, кг/м³.

Як видно з таблиці 4.1, судячи з параметру достовірності R^2 , всі показники з високою тісніотою зв'язку відповідають аналітичним залежностям.

Інтенсивність старіння оливи залежить не тільки від напрацювання, а й від умов доливання для компенсації чаду.

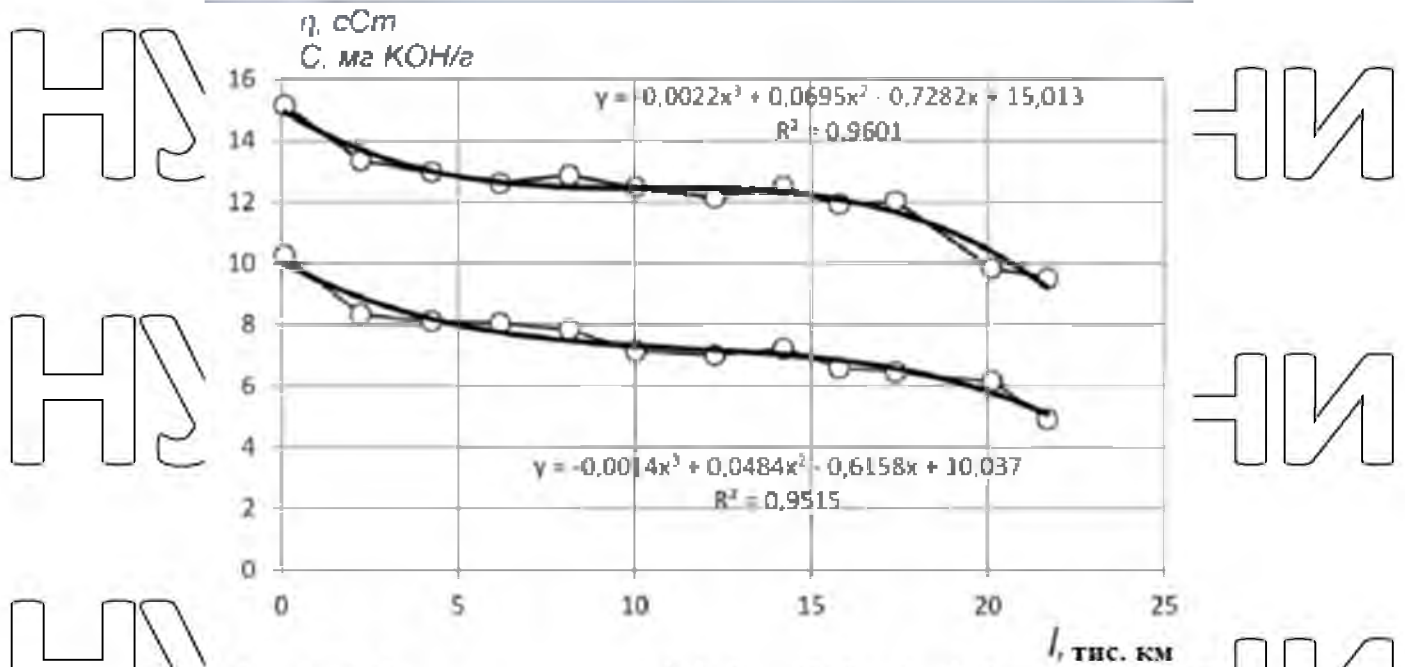


Рис. 4.1 - Зміна лужного числа S і в'язкості η в процесі роботи моторної оливи по автомобілям КАМАЗ -Євро

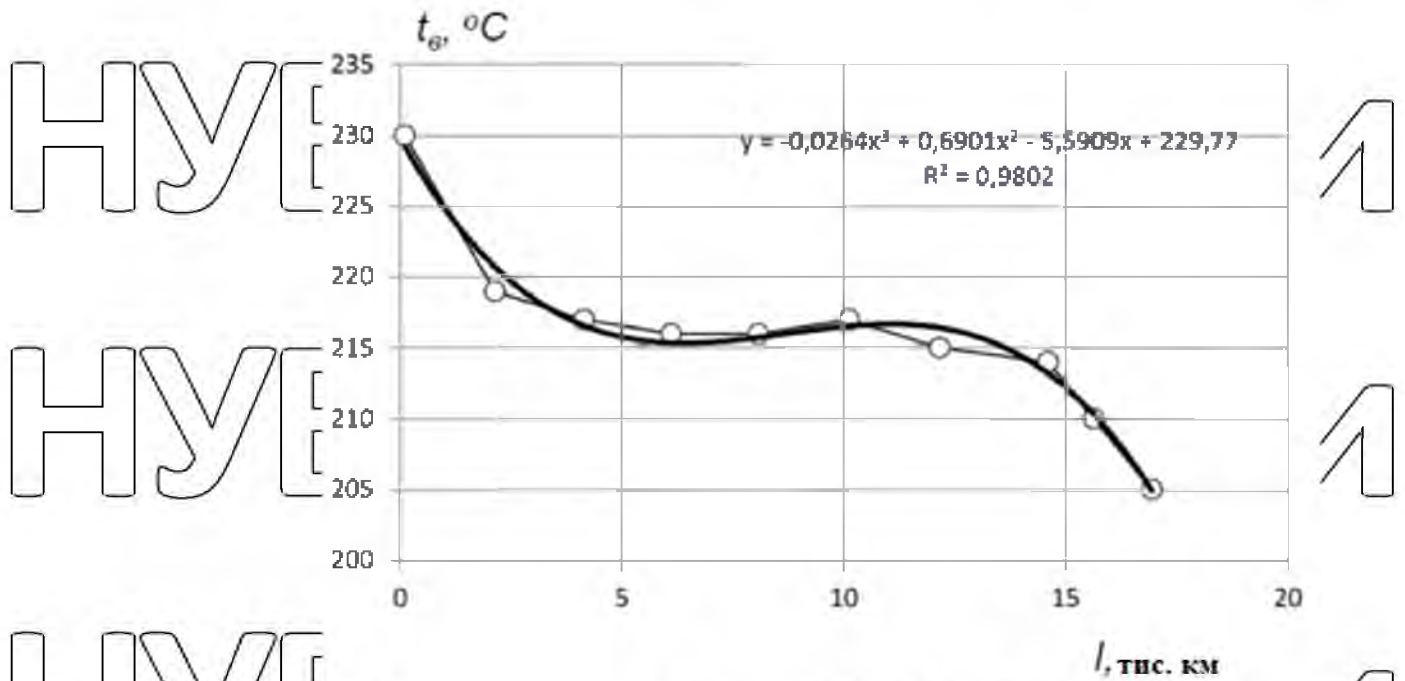


Рис. 4.2 - Зміна температури спалаху $t_{\text{сп}}$ в процесі роботи моторної оливи по автомобілям КАМАЗ -Євро

НУБІП України

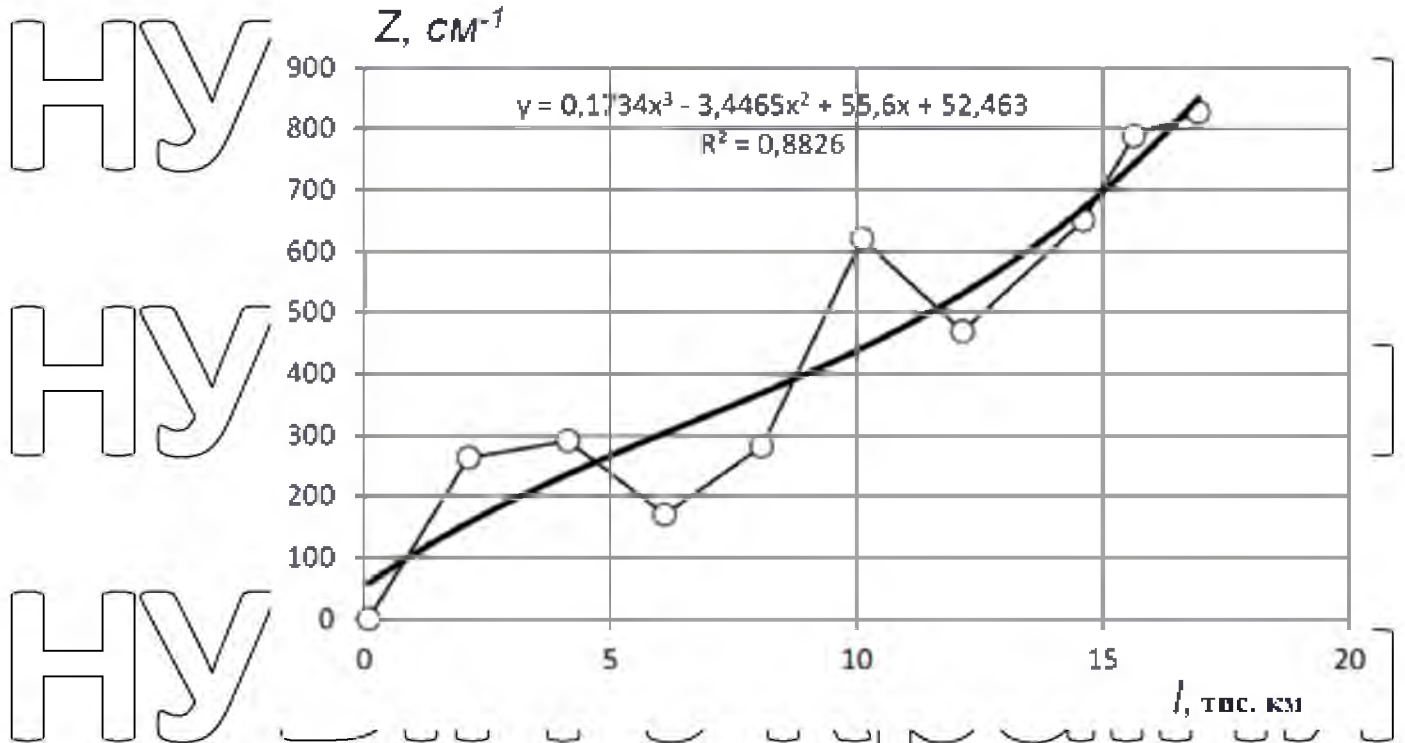


Рис. 4.3 - Зміна забрудненості Z в процесі роботи

моторної оливи по автомобілям КАМАЗ –Євро

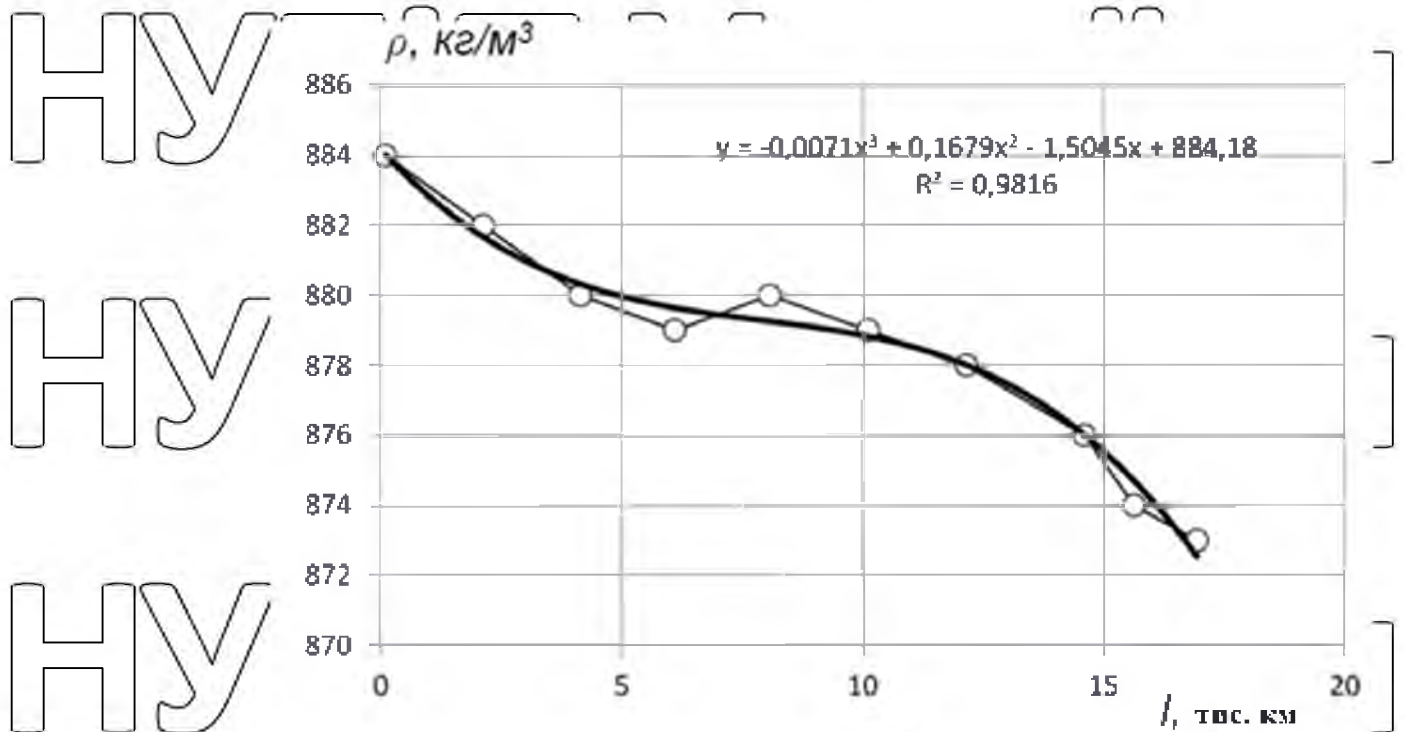


Рис. 4.4 - Зміна щільності ρ в процесі роботи моторної оливи по

автомобілям КАМАЗ –Євро

НУБІП України

Обробка даних по доливу оливи по автомобілям підконтрольної партії дозволила отримати розподіл об'єму доливоної оливи (рис. 4.5) і визначити його параметри (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Параметри розподілу об'єму доливання оливи

Показники	Середнє значення	Коефіцієнт варіації
Об'єм разового доливання, л	3,6	0,292
Питомий долив, л / тис. км	1,78	0,289

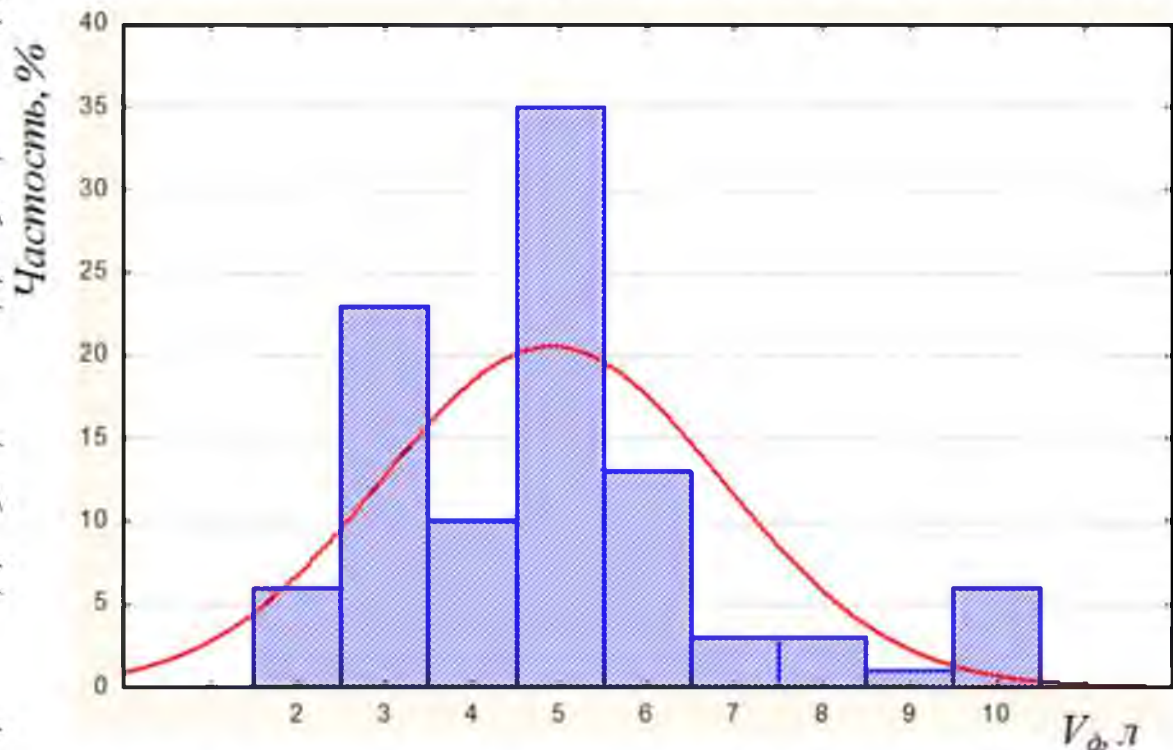


Рис. 4.5 - Розподіл об'єму доливої оливи для компенсації чаду

З таблиці 4.2 видно, що об'єм і періодичність доливання оливи в два рази вище рекомендованих [125] значень. Крім періодичності доливання оливи на надійність двигуна впливає і об'єм долиної оливи.

4.2 Вплив об'єму доливання оливи на періодичність його заміни і надійність двигуна

Як було показано в другому розділі роботи, як і недолив (низький рівень оливи в картері), так і перелив (високий рівень оливи в картері), підвищують інтенсивність зношування деталей. За наведеною в третьому розділі методикою визначили параметри впливу об'єму оливи. Результати обробки експериментальних даних наведені на рис. 4.6 ... 4.8, а параметри залежностей наведені в таблиці 4.3.

Інтенсивність старіння оливи визначали з уч літку зміни в'язкості і концентрації лужної присадки в процесі роботи оливи за його термін служби по автомобілям кожної групи за умовами доливання оливи.

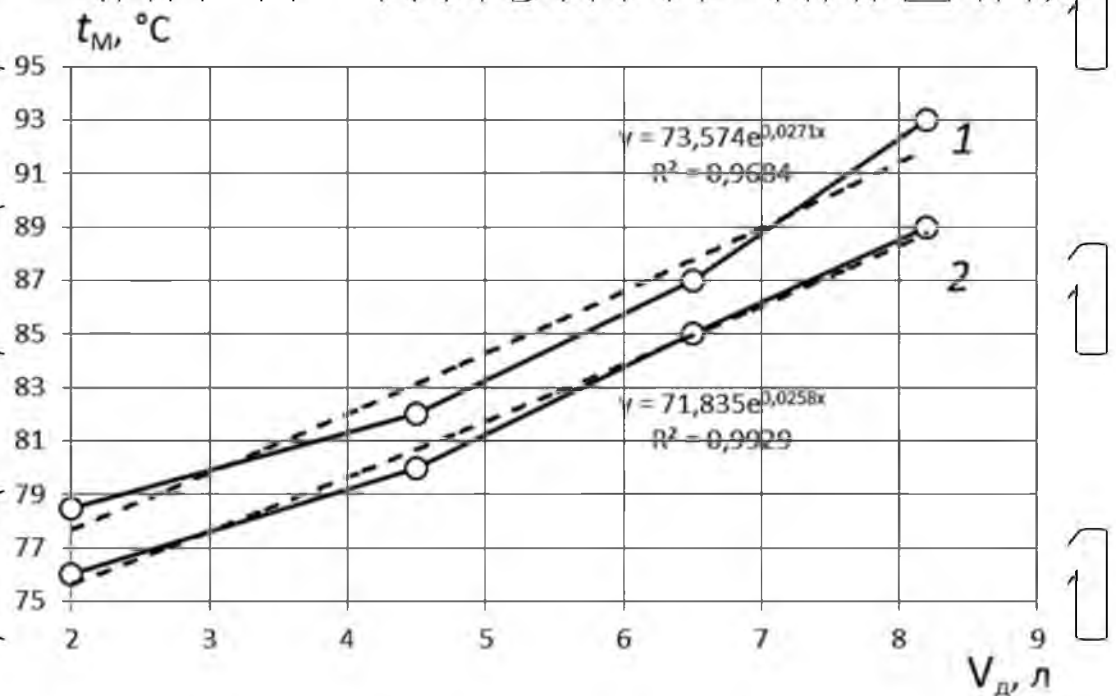


Рис. 4.6 - Залежність температури оливи в картері двигуна влітку - 1 і влітку - 2 від об'єму разового доливання

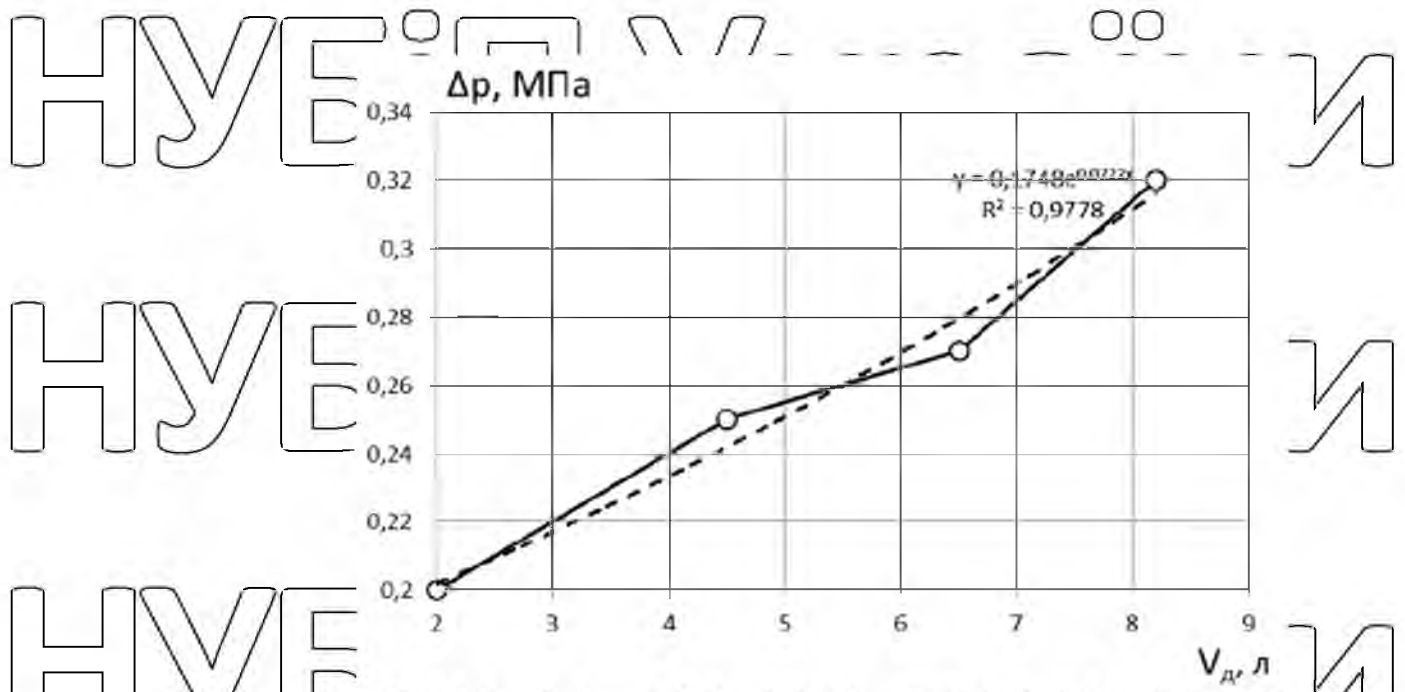


Рис. 4.7 - Залежність зниження тиску в системі мащення двигуна за три роки експлуатації від об'єму разового доливання оливи

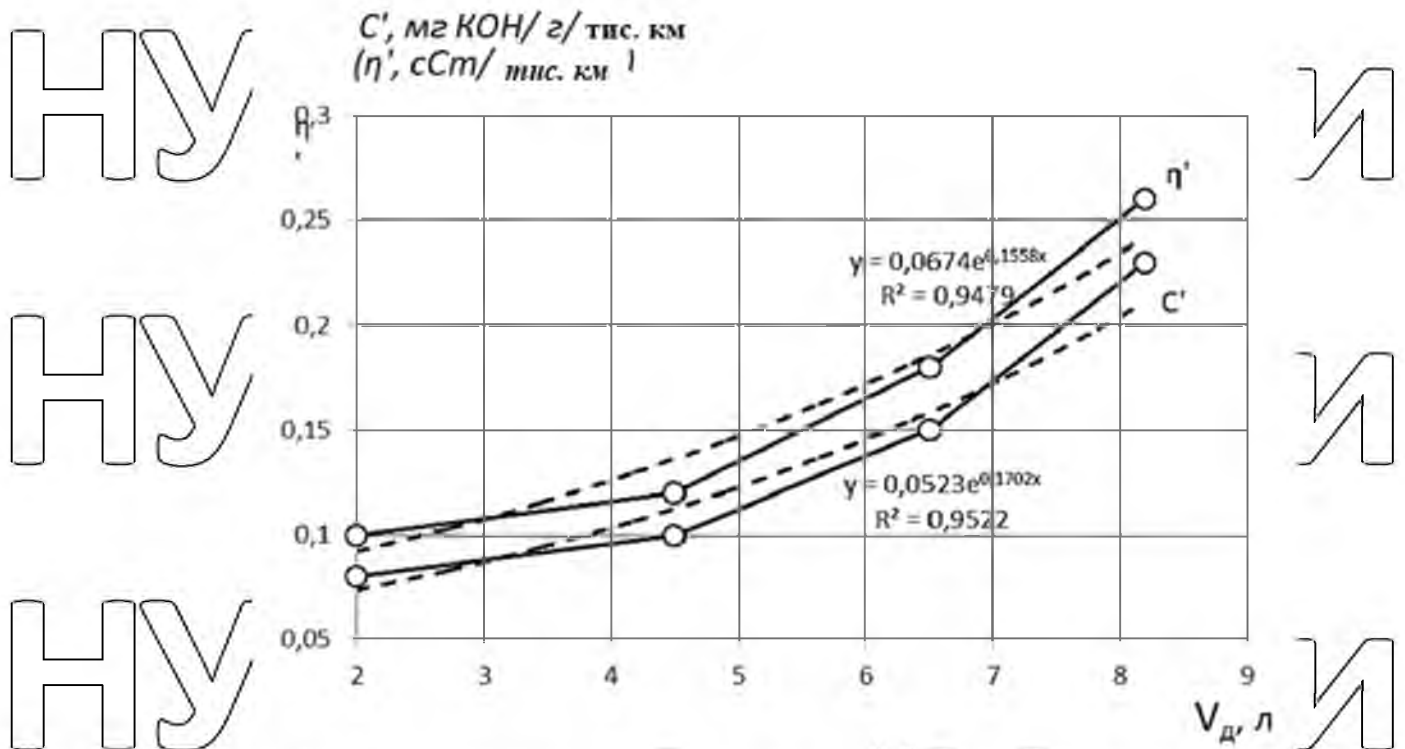


Рис. 4.8 - Залежність інтенсивності зниження в'язкості η' і лужності C оливи від об'єму разового доливання оливи

НУБІП України

Таблиця 4.3

Параметри експоненціальної залежності показників стану оливи Y від об'єму разового доливання оливи V_d ($Y = Ae^{bV_d}$)

Показник стану оливи	A	b	R^2
Температура в картері влітку, °C	73,574	0,0271	0,968
Температура в картері взимку, °C	71,835	0,0258	0,953
Зниження тиску в системі, МПа	0,475	0,0722	0,978
Інтенсивність зниження в'язкості оливи, сСт / тис. км	0,0674	0,1558	0,948
Інтенсивність зниження лужності, мг КОН / г / тис. км	0,0523	0,1702	0,952
R^2 - параметр достовірності даними.	лінії тренду	експериментальним	

З рисунку 4.7 видно, що при реальних режимах доливання оливи температура оливи змінюється на 13 ... 14 °C або на 15 ... 16%. Це викликає відповідне зростання інтенсивності зміни технічного стану двигуна (по зміні тиску в системі мащення i - на 40 ... 44%) і інтенсивності старіння $я$ оливи - на 75 ... 80%.

Для визначення оптимальних умов доливання оливи і використання автоматичного регулювання рівня оливи в картері необхідні дані по зв'язку рівня оливи в картері (по мітках на щупі) і об'ємом оливи в картері. Ці дані необхідні и також при настройці регулятора рівня оливи в картері.

Висновки по розділу

1. Всі показники стану оливи в картері двигуна в процесі експлуатації змінюються в основному за поліномом третього ступеня з високим ступенем

достовірності. Ці залежно необхідно використовувати для розробки нормативів заміни і доливання оливи.

2. Фактично об'єм і періодичність доливання оливи в два рази вище рекомендованих значень при їх великій варіації.

3. При реальних режимах доливання оливи температура оливи змінюється на 13-14 °С або на 15 -16%. Це викликає відповідну зміну інтенсивності зміни технічного стану двигуна (по зміні тиску в системі мащення - на 40-44%) і інтенсивності старіння оливи - на 75 -80%.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ

5.1 Аналіз параметрів системи мащення двигунів КАМАЗ - 740 і

КАМАЗ-ЄВРО

Практика експлуатації двигунів КАМАЗ показала, що долив оливи для компенсації чаду, проводиться нерегулярно по періодичності (від 200 до 3000 км) і за об'ємом (від 2 до 10 л) [2]. При таких параметрах доливання оливи імовірна робота двигуна як в режимі оливного голодування при низькому рівні оливи в картері, так і в режимі спінювання при контакті елементів колінчастого валу з оливами при надмірно високому рівні (рисунок 2.2). І в тому і в іншому випадку не забезпечується стабільний оливний шар між деталями для підтримки гідродинамічної мащення і мінімальної інтенсивності зношування.

Для з'ясування зв'язку об'єму оливи в картері і його рівня на оливовимірному щупі була складена наступна програма.

На двигуні КАМАЗ -740 під час заміни оливи були визначені:

- об'єм залитого оливи до появи слідів оливи на оливовимірному щупі;
- об'єм залитого оливи до досягнення нижньої мітки на оливовимірному щупі;
- об'єм залитої оливи до досягнення верхньої мітки на оливовимірному щупі;
- залежність рівня оливи в картері від залитого об'єму;
- відстань від рівня оливи при досягненні верхньої мітки на щупі до рівня противаги колінчастого валу при доложенні кривошипа в ВМТ;
- об'єм оливи, необхідного для компенсації різниці в рівнях, вказаних в попередньому пункті.

Експеримент проводили в наступному порядку:

1. Установка вимірювача рівня оливи в картері.
2. Поступовий налив оливи в двигун і контроль за підвищенням рівня оливи в картері і зміною рівня на оливовимірному щупі.

Результати представлені на рис. 5.1.

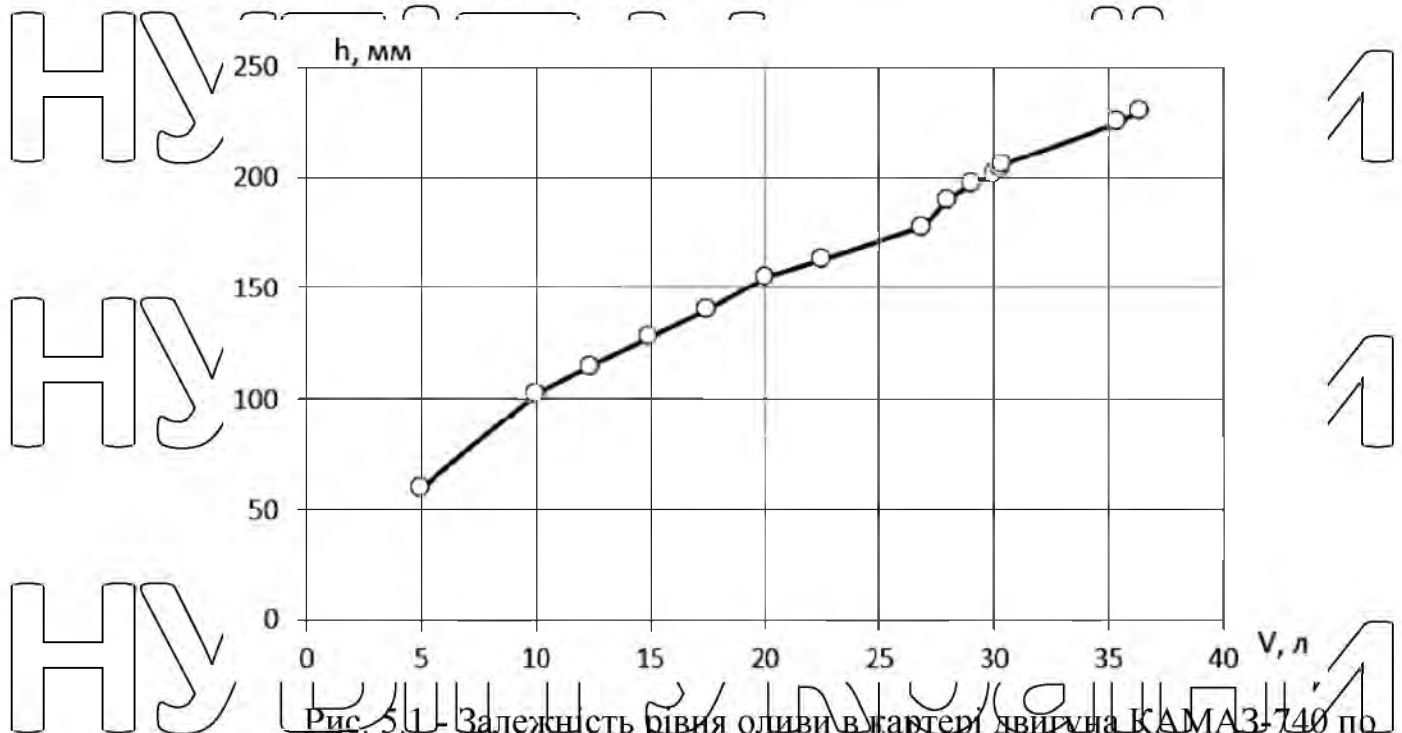


Рис. 5.1 - Залежність рівня оливи в картері двигуна КАМАЗ-740 по

оливовимірному щупу від об'єму залитої оливи

Внаслідок проведеного експерименту були отримані наступні значення:

1. Об'єм залитої оливи до появи слідів оливи на оливовимірному щупі дорівнює 26,9 л.
2. Об'єм залитої оливи до досягнення нижньої мітки на оливовимірному щупі 28 л.
3. Об'єм залитої оливи до досягнення верхньої мітки на оливовимірному щупі 30,35 л.
4. Відстань від рівня оливи при досягненні верхньої мітки на щупі до рівня противаги колінчастого валу при положенні кривошипа в ВМТ 24 мм.

5. Об'єм оливи, необхідного для компенсації різниці в рівнях, вказаних в попередньому пункті - 6 л.

З порівняння креслення оливного картера двигуна КАМАЗ-740 і рисунку 5.1 видно, що графік повторює профіль днища картера. Крім того, видно, що об'єм оливи між мітками на щупі становить не 4 л, як зазначено в Керівництві [1], а 2,35 л. Максимально допустимий об'єм оливи в системі 36,35 л, а не 28 л, як зазначено в Керівництві [1]. Різниця в об'ємі оливи в допустимих межах становить 8 л (30%), що істотно позначиться на тепловому режимі і ресурсі двигуна.

Аналогічні вимірювання були виконані і по двигуну КАМАЗ-ЄВРО-4 на базі випробувальної лабораторії заводу двигунів ПАТ «КАМАЗ». Отримані наступні результати (рис 5.2):

1. Об'єм залитої оливи до появи слідів оливи на оливовимірному щупі дорівнює 15,5 л.

2. Об'єм залитої оливи до досягнення нижньої мітки на оливовимірному щупі 20 л.

3. Об'єм залитого оливи до досягнення верхньої мітки на оливовимірному щупі 23,75 л.

4. Відстань від рівня оливи при досягненні верхньої мітки на щупі до рівня противаги колінчастого валу при положенні кривошипа в ВМТ 63 мм.

5. Об'єм оливи, необхідного для компенсації різниці в рівнях, вказаних в попередньому пункті - 7,75 л.

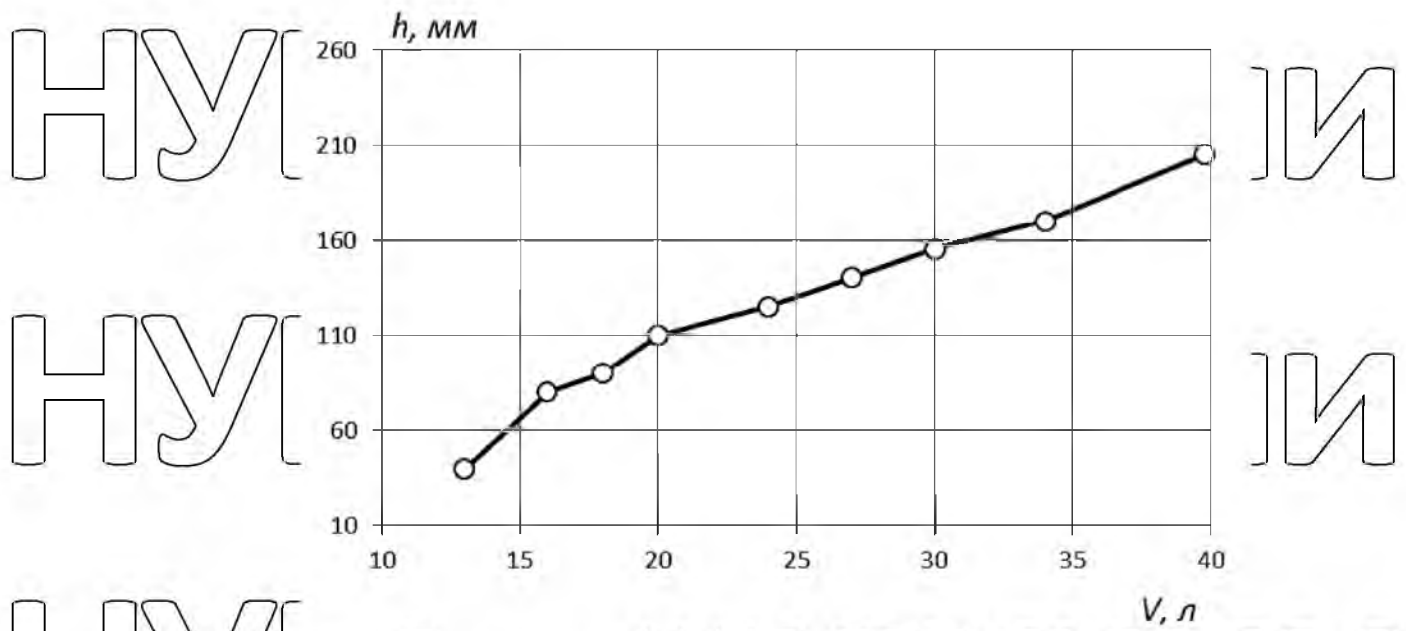


Рис. 5.2 - Залежність рівня оливи в картері двигуна КАМАЗ-Євро-4, по оливовимірному у щупу від об'єму залитого оливи

На двигуні КАМАЗ-Євро-4 об'єм оливи між мітками на щупі становить 3,75 л, максимально допустимий об'єм оливи в системі 31,5 л. Різниця в об'ємі оливи в допустимих межах становить 7,75 л (24%). За різних модифікацій серійних двигунів КАМАЗ-Євро норма заправки оливами знаходиться в межах 28 ... 31 л, а по спеціалізованим двигунів - 28 ... 37 л. Це позначається на тепловому режимі двигуна і інтенсивності старіння оливи.

Зазначені параметри необхідно використовувати при розробці практичних рекомендацій по регулюванню рівням оливи в картері двигуна.

5.2 Практичні рекомендації з регулювання рівня оливи в картері

двигуна

Основна рекомендація даного дослідження - це підтримка оптимального рівня оливи в картері за рахунок режиму доливання. При цьому необхідно враховувати не лінійний зв'язок об'єму оливи і рівня його по щупі. Отримані в

понапередньому розділі залежності дозволяють встановити оптимальний режим доливання оливи: об'єм і періодичність.

З урахуванням наведених факторів при сформованій докідної ставки по автомобілях КАМАЗ-ЄВРО 20 грн / км були визначені питомі витрати на долив оливи і на усунення відмов з причини системи мащення, які наведені на рис. 5.3.

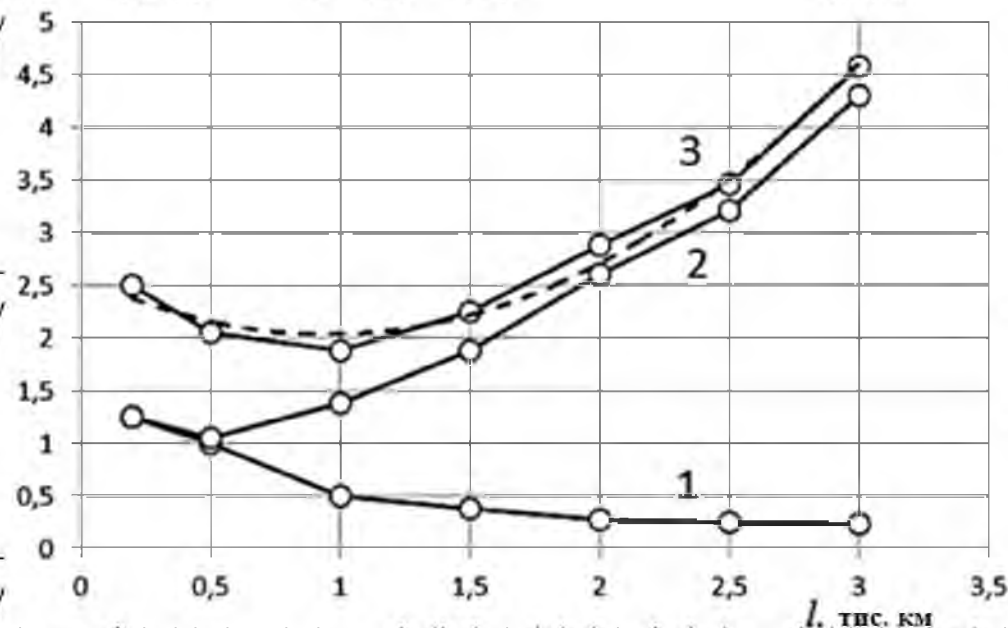


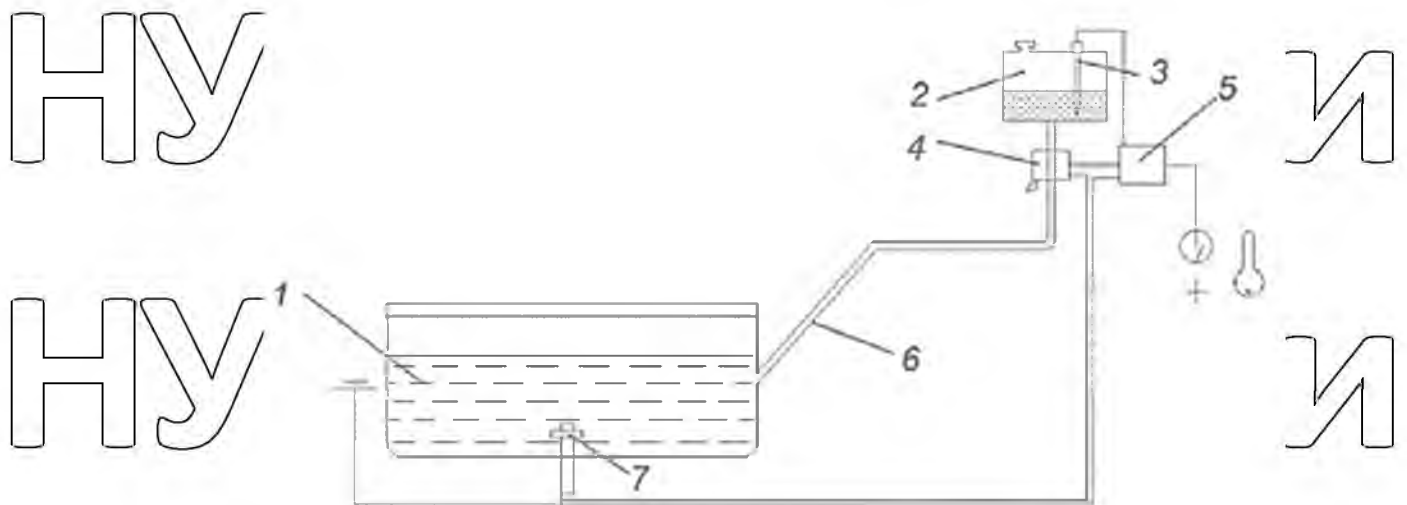
Рис. 5.3 - Залежність питомих витрат на долив оливи - 1, на поточний ремонт - 2 і сумарних - 3 від періодичності доливання оливи

Обробка даних сумарних питомих витрат за поліномом другого ступеня і розрахунок оптимального значення періодичності доливання по похідній, що дорівнює нулю, показала, що оптимальна нагараювання до доливання оливи і залишає 1 тис. км. Тобто, за термін служби оливи доцільно 17 разів доливати олива в об'ємі 1,8 - 2 л за один долив.

Виходячи з наведених у четвертому розділі даних, при цьому режимі доливання будуть мінімальними: температура оливи в картері, інтенсивність зміни технічного стану двигуна і інтенсивність старіння оливи. Отже, за цих умов доливання будуть максимальними ресурс двигуна і термін служби оливи.

Забезпечення такого напруженого режиму доливання в процесі експлуатації є досить трудомістким процесом. До того ж на величину долитої оливи впливає безліч причин суб'єктивного і об'єктивного характеру: кваліфікація і характер водія, стабільність поставок оливи (за часом і асортиментом), рівень контролю якості профілактики системи мащення та інші. Тому для зниження негативного впливу зазначених факторів доцільно використовувати автоматичний пристрій - регулятор рівня моторної оливи (PRM) в картері двигуна, схема якого представлена на рисунку 5.5. Пропонований PRM є елементом функціонального тюнінгу автомобіля, що виконується за бажанням експлуатуючі автомобілі осіб.

Регулятор складається з оливного картера 1, бачка 2, індикатора рівня оливи в бачку 3, клапана 4, вимикача 5, гнучкого оливапроводу 6, датчика рівня оливи в картері 7, електропроводи, що з'єднує датчик, клапан і індикатор з акумулятором автомобіля.



1 - оливний картер; 2 - бачок; 3 - індикатор рівня оливи в бачку; 4 - клапан; 5 - вимикач; 6 - гнучкий оливапровід; 7 - датчик рівня оливи в картері

Рис. 5.4 - Схема регулятора рівня оливи в картері двигуна

Принцип роботи PRM у наступному: система регулювання включається водієм вимикачем 5 при непрацюючому двигуні і нерухомому автомобілі. При

зниженні рівня оливи нижче верхньої позначки на оливовимірному щупі датчик 7 подає сигнал на клапан 4, який відкривається і олива з бачка 2 надходить в картер двигуна 1. При досягненні оливам рівня верхньої мітки оливовимірному щупа по сигналу датчика 7 клапан 4 закривається, і подача оливи в картер двигуна припиняється. При закінченні оливи в бачку індикатор 3 інформує водія про необхідність доливання оливи в бачок.

Використання РРО дозволяє уникнути роботи двигуна при рівні оливи в картері за межами міток на оливовимірному щупі, що знижує ймовірність аварійних пошкоджень підшипників колінчастого валу і циліндро-поршневої

групи двигуна. Розроблено технології складання і сервісу РУМ. Технологія складання РУМ приведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Технологія складання РРМ для двигуна КАМАЗ - 740.320

Перелік та об'єми виконання робіт по монтажу регулятора рівня оливи в картері двигуна			
№ п/п	Найменування робіт	Опис робіт	трудомісткість, люд./год
1	Злити оливу з картера двигуна	Відповідно до технологічної карти робіт ТО-2	0,5
2	Зняти картер двигуна	Відповідно до технологічної карти робіт капітального ремонту	0,28
3	Промити картер двигуна	Для промивання використовувати дизельне паливо, потім витерти деталі картера ганчіркою	0,4

Продовження таблиці 5.1

4	Просвердлити два отвори в перегородці картера для кріплення датчика рівня оливи	Діаметр отворів 6 мм	0,24
5	Закріпити датчик рівня оливи на перегородці картера	Гвинт з різьбою М6	0,24
6	Закріпити бак для оливи на панелі кабіни	Використовувати хомути і 2 гвинти з різьбою М6	0,3
7	З'єднати бак з датчиком рівня оливи шлангом через клапан	Використовувати шланг поліетиленовий з внутрішнім діаметром 12 мм і відповідні хомути	0,54
8	Встановити індикаторну лампу на приладовій панелі	Використовувати резервні отвори в панелі або зробити додаткові отвори	0,4
9	З'єднати проводом клапан з датчиком і індикатором	Використовувати провід електропроводки низького ланцюга напруги (за електричною схемою)	0,3
10	Приєднати електричну схему до акумуляторної батареї	Відповідно до загальної електричної схеми регулятора рівня оливи	0,2

Профілактика РРО полягає в періодичному візуальному контролі його елементів і параметрів спрацьовування датчиків і клапанів. Періодичність профілактики РРО дорівнює періодичності ТО-2 або заміни моторної оливи.

Альтернативою РРО є, долив оливи через 1000 км пробігу автомобіля не вище верхньої мітки на щупі.

5.3 Техніко-економічна оцінка ефективності роботи

Для оцінки економічного ефекту даного дослідження слід порівняти витрати на профілактику системи мащення двигунів і забезпечення працездатності

двигунів з витратами при пропонованій удосконаленій профілактикою системи мащення.

Однією зі складових річного економічного ефекту є скорочення витрат від оптимізації доливання оливи. Нині долив оливи здійснюється через 2000 км із середніми питомими витратами 1 грн/км. При пропонованій періодичності доливання оливи 1000 км питомі витрати становлять 0,67 грн./км. Відповідно, при річному пробігу автомобіля 60000 км, річний економічний ефект складе: $E_{Г} = 60000 \text{ км} \cdot 0,27 \text{ грн./км} = 16200 \text{ грн.}$

З урахуванням вартості РРО загальний річний економічний ефект складе 49500 грн на один автомобіль КАМАЗ - Євро.

5.4 Висновки по розділу

1. На тепловий режим і ресурс двигуна істотно є вплив робить різниця в об'ємі оливи в допустимих межах 8 л (30%)
2. Встановлено оптимальні режими доливання моторної оливи: періодичність 1000 км, об'єм 1,8-2 л.
3. При оптимальному режимі доливання будуть мінімальними: температура оливи в картері, інтенсивність зміни технічного стану двигуна і інтенсивність старіння оливи, а отже, максимальними ресурс двигуна і термін служби оливи.
4. Економічний ефект від використання результатів дослідження становить 49500 грн на один автомобіль КАМАЗ - Євро.

ВИСНОВКИ

НУБІП України

1. В роботі вирішена актуальна науково-практична задача, що складається в підвищенні ефективності експлуатації форсованих дизелів за рахунок зниження витрат на 12% на забезпечення ресурсу вдосконалення режимів доливання оливи в картер.

НУБІП України

2. Встановлено, що при однаковому об'ємі системи мащення у форсованих двигунах збільшується приріст температури оливи, що веде до інтенсифікації процесів його старіння і підвищення інтенсивності зношування деталей двигуна.

НУБІП України

Обґрунтовано аналітичні залежності інтенсивності старіння моторної оливи і інтенсивності зміни технічного стану циліндро-поршневої групи і підшипників колінчастого валу двигуна від об'єму оливи в картері форсованих двигунів

НУБІП України

3. Експериментально визначені параметри залежностей основних показників моторної оливи від напрацювання і об'єму його доливання в картер форсованих двигунів КАМАЗ -Євро. Встановлено, що при реальних режимах доливання оливи його температура змінюється на 13 -14 °С. Це викликає відповідну зміну інтенсивності зміни технічного стану двигуна (на зміні тиску в системі мащення і - на 40-44%, за зростанням витрати оливи на чад - на 270-290%) і інтенсивності старіння оливи - на 75-80%.

НУБІП України

4. Використання практичних рекомендацій з підтримки функціонального стану системи мащення форсованих двигунів КАМАЗ -Євро (з об'ємом долив а 1,8-2 л. При періодичності 1 тис. км. або з використанням розробленого регулятора рівня оливи в картері) забезпечує економічний ефект в середньому 16200 грн. на один двигун КАМАЗ -Євро в рік.

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна цільова програма "Ліси України" на 2010-2015 роки. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 16 вересня 2009 р. № 977. – К., 2009. – 35 с.

2. Жулан О. Ю. Рациональный підхід до організації стратегії технічного обслуговування і ремонту дизелів / О. Ю. Жулан // Науковий вісник НЛТУ України : Технологія та устаткування деревообробних підприємств. – 2009. – Вип. 19.10. – С. 94–98.

3. Войцеховська Ю. В. Інноваційні аспекти оновлення технологічного обладнання виробничих систем / Ю. В. Войцеховська, А. О. Мавріна, Г. Р. Копець // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.5. – С. 340–345.

4. Кіндрацький Б. І. Рациональне проектування машинобудівельних конструкцій : монографія / Б. І. Кіндрацький, Г. Т. Сулим. – Львів : Вид-во КНТАПРИ ЛТД, 2003. – 280 с.

5. Тітова Л. Л. Алгоритм розподілу об'ємів відновлення працездатності вантажних машин / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2016. – Вип. 167. – С. 290–296.

6. Тітова Л. Л. Вагомість критеріїв при визначенні технічного рівня МЕЗ в системі технічного обслуговування / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2016. – Вип. 134. – С. 282–286.

7. Тітова Л. Л. Удосконалення технічного контролю транспортних засобів / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна наука, освіта, виробництво: європейський досвід для України» (17–18 листопада 2015 року). – Житомир: ЖНАЕУ, 2015. – С. 210–213.

8. Тітова Л. Л. Методичні положення потреби в мобільних засобах техобслуговування МЕЗ // Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 146–152.

9. Тітова Л. Л. Обґрунтування технічних заходів підтримання працездатності вантажних машин // Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2015. – Вип. 160. – С. 189–195.

10. Патент на корисну модель 105161 України, МПК В60Р 3/00 Мобільний засіб відновлення працездатності мобільних енергетичних засобів / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський ; заявник і патентовласник Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський. – № u201507796 ; заявл. 05.08.15 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.

11. Патент на корисну модель 105162 України, МПК В60R 11/00 В60R 99/00 Мобільний засіб відновлення працездатності мобільних енергетичних засобів / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський ; заявник і патентовласник Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський. – № u201507797 ; заявл. 05.08.15 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.

12. Патент на корисну модель 104884 України, МПК В60Р 3/14 E04H 15/00 В60S 5/ Мобільний засіб відновлення і контролю технічного стану мобільних енергетичних засобів / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський ; заявник і патентовласник Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський. – № u201507798 ; заявл. 05.08.15 ; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.

13. Тітова Л. Л. Обґрунтування режимів відновлення працездатності вантажних машин / Л. Л. Тітова // Збірник тез доповідей I-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Інженерія систем природокористування" (11 листопада 2015 року) в рамках роботи XII Міжнародної агропромислової виставки «Агрофорум–2015». – К., 2015. – С. 90–93.

14. Войтюк В. Д. Мобільні засоби технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки в Україні (XX – початок XXI ст.) / В. Д. Войтюк, С.

І. Вечурко та ін.; ред. В. А. Вергунов; Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. с.-г. б-ка, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – К.: ФОП "Корзун Д. Ю.", 2013. – 140 с.

15. Titova Liudmyla, Nadtochii Oleksander Analysis of multi-channel system of mass service // TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow 2018. Vol. 18. No 3. P. 11–18.

16. Gorobets V.G., Trokhaniak V.I., Rogovskiy I.L., Titova L.L., Lendiel T.I., Dudnyk A.O., Masiuk M.Yu. The numerical simulation of hydrodynamics and mass transfer processes for ventilating system effective location // INMAТЕН. Agricultural Engineering. 2018. Bucharest. Vol. 56. No 3. P. 185–192. Scopus. WoS.

17. Taylor J. C. A statistical theory of depreciation / Taylor J. C. // The Journal of the American statistical Association, December, 2013. – P. 66–74.

18. Dethoor J. M. Lavie des equipements investissement. Renouvellement Maintenance / J. M. Dethoor. – Paris. Duhod, 2008. – P. 23–27.

19. Hwang C. L. Multiple Objective Decision Making / C. L. Hwang, A. Masud // Methods and Applications : A State of the Art Survey", Lecture Notes in Economics and Mathematical Sistema No, 164, Springer-Verlag, New York, 2009. – P. 101–103.

20. Derman C. Replcement of Periodically Inspected Equipment / C. Derman, Y. Sask // Naval Res. Logist Quart. 2010. – № 4. – P. 75–83

21. Fogel A. Die modernen Technologien im Maschinenbau / A. Fogel. – Berlin, 2006 – 304 p.

22. Максимів В. М. Моделювання процесів функціонування автоматизованих ліній деревообробки : монографія / В. М. Максимів. – Львів : Вид-во УкрДІТУ, 1997. – 184 с.

23. Chausov, M., Brezinová, J., Pylypenko, A., Maruschak, P., Titova, L., Guzanová, A. Modification of mechanical properties of high-strength titanium alloys

VT23 and VT23m due to impact-oscillatory loading. (2019) Metals, 2019. Vol. 9. Is. 1. № 80; doi:10.3390/met9010080 (ISSN 2075-4701; CODEN: MBSEC7)

24. Zagurskiy, O.N., Titova, L.L. Problems and prospects of blockchain technology usage in supply chains. Journal of Automation and Information Sciences, 51 (11) 2019., pp. 63-74.

25. Student, M., Gvozdetsky, V., Student, O., Prentkovskis, O., Maruschak, P., Olenyuk, O., Titova, L. The Effect of Increasing the Air Flow Pressure on the Properties of Coatings during the Arc Spraying of Cored Wires. Strojnicky Casopis Volume 69, Issue 4, 1 December 2019, Pages 133-146

26. Hrynkiy, A., Rogovskii, I. Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O., Kolosok, I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (5-105), 2020. pp. 19-29.

27. L L Titova, Yu M Chernik, Yu O Gumenyuk and M M Korobko Research of Daubechies Wavelet spectrum of vibroacoustic signals for diagnostic of diesel engines of combine harvesters. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. Vol. 548. Issue 3. 032030. doi:10.1088/1755-1315/548/3/032030

28. Oleksandr Voinalovych, Leonid Aniskevych, Myhailo Motrich, Liudmyla Titova. Rationale of acceptable risk of using tractors with operational damages of responsible parts. Proceedings of 19th International Scientific Conference “Engineering for rural development” Jelgava, Latvia, May 20-22, 2020, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 19, pp. 784-792. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

29. РОГОВСЬКИЙ І.Л., ТІТОВА Л.Л. Інноваційність типів технічних засобів відновлення працездатності вантажних машин. Збірник тез III-ї міжнародної наукової конференції «Інноваційний розвиток аграрної сфери» (19-20 березня 2015 р.) / НДІ техніки, енергетики та інформатизації АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2015. С. 52-54.

30. Тітова Л.Л. Стационарні та мобільні засоби технічного обслуговування лісових МЕЗ. Збірник тез доповідей ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перші наукові кроки – 2015» (23-24 квітня 2015 року), зб. наук. праць / за заг. ред. І.М. Бендери, В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2015. С. 221 – 222.

31. Тітова Л.Л. Забезпечення відновлення працездатності вантажних машин спеціалізованими ланками. Збірник тез доповідей ІІ Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» (17-18 лютого 2015 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2015.

С. 131-135
32. Тітова Л.Л. Управління технічною готовістю вантажних машин на етапі відновлення їх працездатності. Збірник тез доповідей ІІІ-ї міжнародної наукової конференції «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції та біопалива в АПК» в рамках роботи XXVII Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2015» (05-06 червня 2015 року). – К., 2015. С. 37 – 38.

33. Роговський І.Л., Тітова Л.Л. АСПР в системі відновлення працездатності лісових МЕЗ. Тези ІІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми конструювання, експлуатації та ремонту обладнання лісового комплексу». – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 57 – 60

34. Роговський І.Л., Тітова Л.Л., С. Красовські. Оптимізація періодичності технічного обслуговування лісових МЕЗ. Збірник тез доповідей XVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2015 року) / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2015. С. 172 – 174

35. Тітова Л.Л. Обґрунтування режимів відновлення працездатності вантажних машин. Збірник тез доповідей I-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Інженерія систем природокористування" (11 листопада 2015 року) в

рамках роботи XII Міжнародної агропромислової виставки «Агрофорум-2015». – К., С. 90–93

36. Тітова Л.Л. Управління технічною готовністю вантажних машин на етапі відновлення їх працездатності. Збірник тез доповідей II-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології аграрного виробництва» (9-10 листопада 2016 року) / Міністерство освіти і науки України; Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2016. – С. 220–222.

37. Роговський І.Л., Тітова Л.Л. Ефективність управління відновленням працездатності вантажних машин. Збірник тез доповідей XV міжнародної конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (23–27 березня 2015 року) присвячену 201-річчю з дня народження Т.Г. Шевченка під гаслом «І чужому навчайтесь, й свого не цурайтесь...» – С. 66–67.

38. Роговський І.Л., Тітова Л.Л. Функціональні можливості системності відновлення працездатності вантажних машин. Зб. наук. пр. «Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка». – Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 178. – С. 100–106.

39. Valeriy D. Voytyuk, Ivan L. Rogovskiy, Liudmyla O. Titova Choice of modulator, demodulator and signal transmission in system synthesis technical support for early diagnosis of internal diseases of cattle. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології виробництва зернових культур 2017» в рамках VI Міжнародної виставки інноваційних рішень у зерновому господарстві «Зернові технології 2017» (16 лютого 2017 року) – К., 2017. – С. 76–78.

40. Роговський І.Л., Тітова Л.Л. Структура та функціональні зв'язки фірмових технічних центрів АПК. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» (21 березня 2017 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2017. С. 89–92.

41. Роговський І.Л., Тітова Л.Л. АРМ і чинники продуктивності технічного сервісного вантажних машин. Автоматика – 2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 199-200.

42. Роговський І.Л., Тітова Л.Л. Основні положення індексування параметрів технічного стану вантажних машин. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. XI Міжнародна науково-практична конференція. м. Кропивницький, Україна, 1–3 листопада 2017 року: матеріали конференції. Кропивницький. ЦНТУ. 2017. С. 138—140.

43. Rudnyja L., Titova L. Modern foreign antifreeze in operation of machines for forestry work. Збірник тез доповідей III міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології аграрного виробництва» (7-9 листопада) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2017. – С. 69-71

44. Тітова Л.Л. Таймінговість технічного обслуговування вантажних машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року. Київ. 2018. С. 71—73.

45. Тітова Л.Л., Драчук Б.О. Аналітичний огляд експрес-методів контролю якості працюючих мастил. Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкторської та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 28-29 березня 2018 року. Житомир 2018. С. 320—322.

46. Тітова Л.Л., Крупенко Д.О. Діагностичний комплекс діагностування двигунів СМД-62. Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкторської та технічного сервісу

сільськогосподарських машин і знарядь» 28-29 березня 2018 року. Житомир 2018. С. 324—326.

47. Тітова Л.Л. Технічний сервіс вантажних машин при утворенні посадових місць на вирубках. Збірник тез доповідей XIV Міжнародної наукової конференції «Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018» (19-22 травня 2018 року) // Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2018. С. 103—104.

48. Тітова Л.Л. Вихідні положення системи вимірювання параметрів технічного стану вантажних машин. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VI Міжнародна наукова конференція м. Київ, Україна, 6–9 червня 2018 року, матеріали конференції. Київ, 2018. С. 71–73.

49. Тітова Л.Л., Шатківська Т.І. Організація і функціонування МТС. Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2018 року) / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2018. С. 138—139.

50. Тітова Л.Л. Аспекти відновлення працездатності вантажних машин. Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2018 року) / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2018. С. 183—185.

51. Тітова Л. Л., Крупенко Д.О. Діагностика агрегатів автотранспортних засобів за параметрами працюючої оливи. Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2018 року) / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2018. С. 271—273.

52. Тітова Л. Л., Богун Р.Ю. Проблеми діагностування великовантажних автомобілів. Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2018 року) / МОН

України, Національний університет біоресурсів і природокористування України.
Київ. 2018. С. 273–275.

53. Тітова Л. Л., Медуниця І.М. Аналіз пошкоджень зчпного пристрою автопоїздів. Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2018 року) / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2018. С. 275–277.

54. Тітова Л. Л., Косодрига Я. А. Аналіз параметрів діагностування циліндро-поршневої групи. Збірник тез доповідей XIX міжнародної конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (25–29 березня 2019 року). Київ 2019. С. 132-133

55. Тітова Л. Л. Схеми варіантів поєднань лісосічних машин в системі при сортименті методів заготівлі. Збірник тез доповідей XV Міжнародної наукової конференції «Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2019» (19-22 травня 2019 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2019. С. 89-91.

56. Тітова Л. Л., Скрипка К.О. Перспективні напрямки розвитку гібридних автомобілів. Збірник тез V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 28-29 березня 2019 року. Житомир 2019. С. 209-211.

57. Тітова Л. Л., Поліщук В.А. Оцінка залишкової ємності акумуляторної батареї. Збірник тез V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 28-29 березня 2019 року. Житомир 2019. С. 211-212

58. Тітова Л. Л. Варіанти поєднань машин в системі при сортименті методів заготівлі. Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції "Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку", присвячена 90-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України (7-8 листопада 2019 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2019. С. 179-181

59. Тітова Л. Л., Яремчук Т.В., Біла Я.Ю. Підвищення ресурсу паливних фільтрів і покращення якості очистки палива. Збірник тез доповідей «Сучасні технології аграрного виробництва: V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 6-7 листопада 2019 року: тези конференції. Київ, 2019. С. 33-34

60. Тітова Л. Л., Яцун В.І. Паливоподаючі системи автомобільних дизелів. Сучасні технології аграрного виробництва: V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 6-7 листопада 2019 року: тези конференції. Київ, 2019. С.31-33

61. Тітова Л. Л. Підвищення ефективності роботи повітрообслуговуючої системи та покращення очистки повітря дизелів вантажних машин. Сучасні технології аграрного виробництва: V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 6-7 листопада 2019 року: тези конференції. Київ, 2019. С.40-42

62. Тітова Л.Л., Перетятко В.Р. Аналіз процесів згоряння, що відбуваються в циліндро-поршневій групі дизелів вантажних машин. Сучасні технології аграрного виробництва: V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 6-7 листопада 2019 року: тези конференції. Київ, 2019. С.38-40