

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАНОСТІ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ МЕТОДОМ ПОВНОЇ КВАДРАТИКИ

1. Вступ

В експлуатаційних умовах довговічність поршневих двигунів внутрішнього згоряння (ДВС) основним чином визначається зносом гільз циліндрів, поршневих кілець, вкладишів підшипників колінчастого і газорозподільного валів, ці деталі працюють в складних напружених умовах, і в агресивних середовищах.

Напруженість поверхонь деталей зумовлена режимами роботи двигуна, які в експлуатаційних умовах мають динамічні характеристики, визначаються сталими і не сталими швидкісними, навантажувальними і температурними параметрами.

Систематичний відбір та аналіз терміну служби двигунів експлуатованих в різних умовах [1], дозволив зробити висновок, що термін служби двигунів автомобільних кранів в 1,6 – 2,4 рази менше ніж при експлуатації в сталих умовах (табл. 1).

Таблиця 1 – Термін служби двигунів при різних умовах експлуатації до капітального ремонту

Умови експлуатації	Середній термін служби двигунів у мото-годинах			
	ЗИЛ – 130	ЯМЗ – 236	КАМАЗ – 740	ЗМЗ – 53
Автомобілі за містом	5250	5400	5600	5350
Ґрунтові дороги	3750	3600	3950	3566
Міські дороги	3050	2750	2947	2675
Автомобільні крани	2287	2455	2434	2326

2. Мета роботи

Встановити закономірності зношування деталей ДВС, що враховують не тільки роздільний але і спільний вплив коефіцієнта динамічності, навантажувальних, швидкісних та температурних режимів роботи.

3. Планування експерименту

Дослідження моделі зносу двигуна приводу автомобільного крана ускладнено великою кількістю факторів, що впливають на нього. Тому теоретичний опис в цій області носить лише якісний характер і дозволяє науково обґрунтовано спланувати етапи дослідження. Кількісний опис моделі можна отримати експериментально великою кількістю трудомістких дослідів.

Досвід застосування математичних методів планування зносних динамічних випробувань показує, що використовувана методологія їх проведення математично строго і фізично коректно дозволяє поставити сучасний експеримент в рандомізованій формі.

Для встановлення закономірностей інтенсивності зносу двигуна необхідно мати відомості про значення параметрів, що входять у наступну багатовимірну функцію:

$$\frac{du}{d\Theta} = f(P_e; W_p; \omega; \varepsilon; k_D), \quad (1)$$

де P_e – ефективне навантаження;
 W_p – інтенсивність зміни навантаження;
 ω – кутова швидкість колінчастого валу;
 ε – прискорення колінчастого валу;
 K_D – коефіцієнт динамічності.

У зв'язку зі складністю рішення рівняння (1) пропонується спрощений метод повної квадратики, який був розглянутий у роботі [2].

4. Дослідження моделі методом повної квадратики.

Розглянемо шлях реалізації функції (1) за допомогою методу повної квадратики. Отримані рівняння більш повно охоплюють як лінійність, так і нелінійність процесів, що відбуваються і дозволяють врахувати сумісний вплив факторів.

Базуючись на теоретичних положеннях вивчення процесів за допомогою квадратик, багатовимірну функцію (1) представимо у вигляді

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{44}x_4^2 + a_{55}x_5^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{15}x_1x_5 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{34}x_3x_4 + a_{35}x_3x_5, \quad (2)$$

де $y = \frac{du}{d\Theta}$; $x_1 = P_e$; $x_2 = W_p$; $x_3 = \omega$; $x_4 = \varepsilon$; $x_5 = k_D$.

Грунтуючись на технічних показниках двигунів сучасних автомобільних кранів, попередньо вибираємо межі змін параметрів (табл. 2).

Таблиця 2 – Межі змін параметрів рівняння (2)

Параметр		Автомобільний кран		
		КС – 2571А (ЗИЛ – 130)	КС-4561А (ЯМЗ – 236)	МКА-10М (КАМАЗ – 740)
x_1	$P_e, \text{Мн/м}^2$	0,02 – 0,86	0,07 – 0,8	0,06 – 0,8
x_2	$W_p, \text{Мн/м}^2 \cdot \text{с}$	0,01 – 2,9	0,01 – 2,9	0,01 – 2,9
x_3	$\omega, \text{об/мин}$	1000 – 3000	1000 – 2500	650 – 3000
x_4	$j, 1/\text{с}$	2 – 46	2 – 40	2 – 40
x_5	K_D	1,3 – 3	1,3 – 3	1,6 – 4,6

Для визначення коефіцієнтів рівняння (2) за допомогою лінійної апроксимації були використані матриці плану експерименту. Коефіцієнти рівняння (2) можуть бути визначені за формулою

$$y_p = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4, \quad (3)$$

де $a_0 = \sum \frac{y_{an(i)}}{16}$; $a_j = \frac{x_j y_{an}}{16}$; x_j – вектор-стовбці.

Якість апроксимації оцінюється обчисленням коефіцієнта варіації

$$v = \frac{\sigma_F(\dots) \times 100}{y_{cp}} = \frac{100}{a_0} \sqrt{\frac{\sum (y_{an(i)} - y_{(p)i})^2}{N - k}}, \quad (4)$$

де $y_{cp} = a_0$;

N – Число дослідів;

k – число коефіцієнтів лінійної апроксимації, $k = 5$.

При фіксованих значеннях параметрів їх коефіцієнт варіації коливається в межах

$$6 - 8 \% \left(\frac{\bar{v} \bar{\sigma}}{\bar{M}} 100 < \sigma \right).$$

У випадку $\bar{v} \leq v$ прийнято вважати, що рівняння (4) дає цілком задовільне наближення до дослідів.

При здійсненні фізичного моделювання функція (1) досліджувалася наступним чином [3]. Програмна установка на підставі введених в неї алгоритмів задавала різні режими роботи випробуваному двигуну, що виконує на кожному режимі одиницю умовної роботи. Зазначена одиниця відповідає середньому значенню часу, при якому знос має стабільні значення з мінімальним відхиленням.

Статистична обробка осцилограм з записами режимів роботи двигунів в умовах експлуатації дозволила з достовірністю до 0,85 вибрати типові осцилограми і з їх допомогою скласти алгоритми програм випробування для кожного двигуна з урахуванням температур води в системі охолодження і масла, величини навантаження, швидкості обертання колінчастого валу і зміни у часі зазначених режимів роботи. Ці осцилограми після розшифровки а також результати числового експерименту дали підставу для програмування програмної установки і були стохастичною моделлю кожного етапу випробувань. З урахуванням їх варіації (по максимуму) на кожному етапі задавалося додатково по чотири режими, які вибирались за допомогою методу рангової кореляції. Проведені випробування в певній мірі дозволили відтворити експлуатаційні умови і максимально наблизити зміни параметрів до реальних умов експлуатації автомобільного крана.

4. Обговорення результатів

Обробка результатів зносних випробувань двигунів показала, що інтенсивність зносу приводу автомобільного крана в значній мірі залежить від значення коефіцієнта динаміки (рис. 1), інтенсивності зміни навантаження (рис. 2) і величини прискорень (рис. 3).

Так робота двигуна при несталих навантажувальних режимах (0,4–0,8 мН/м²) призводить до збільшення зносу 2,8 рази, робота приводу при зміні прискорення від 5 до 20

$1/c_2$ (за 1×10^7 од. ум. роботи) призводить до збільшення зносу деталей двигунів ЯМЗ–236 і КАМАЗ–740 – в середньому в 2,2 рази, ЗІЛ–130 – в 2,3 рази. Однак найбільший вплив на зношувальність двигуна оказує значення коефіцієнта динаміки. Криві, що характеризують інтенсивність зносу при різних значеннях K_d в діапазоні від 1,5 до 4, постійно зростають, при малих навантаженнях крива зносу 4 на рис. 1, змінюється майже пропорційно виконаній роботі, при зростанні коефіцієнта динамічності її крутизна збільшується, а функція набуває форму параболи. Аналізуючи експериментальні дослідження можна прийти до висновку, що незалежно від типів двигунів при несталих динамічних режимах роботи автомобільних кранів в порівнянні з еквівалентними сталими режимами знос приводу зростає більш ніж в 3 рази.

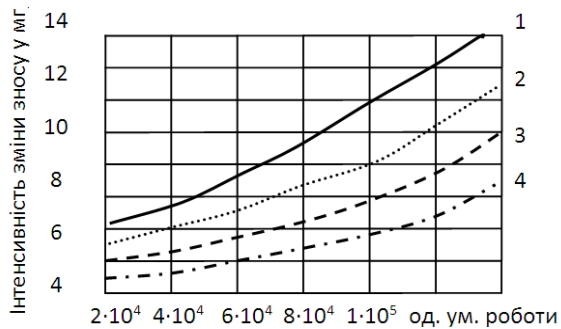


Рис. 1 – Вплив коефіцієнта динамічності на знос двигуна КАМАЗ–740 при стендових випробуваннях 1 – $K_d = 4,5$; 2 – $K_d = 3,5$; 3 – $K_d = 2,5$; 4 – $K_d = 1,5$

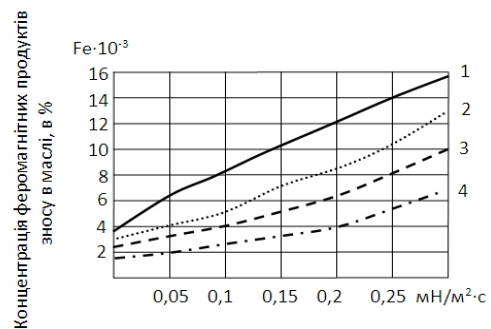


Рис. 2 – Вплив швидкості зміни навантаження на інтенсивність зносу двигуна ЗІЛ–130 при зміні режиму від 0,7–0,8 мН/м² (1), від 0,6–0,7 мН/м² (2), від 0,5–0,6 мН/м² (3), 0,4–0,5 мН/м² (4) за 10^5 од. ум. роб.

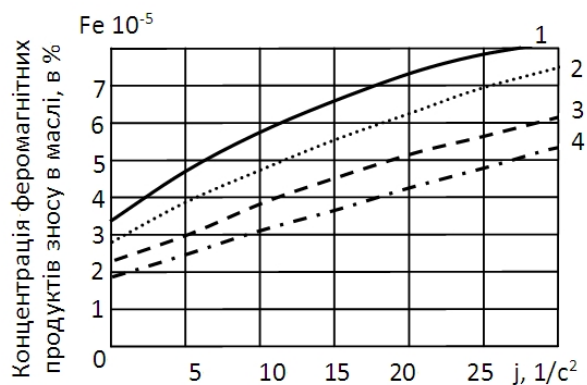


Рис. 3 – Вплив прискорення на інтенсивність зносу двигуна ЗІЛ - 130 при зміні режиму від 2000 - 3000 об / хв (1), від 1400 - 2200 об / хв (2), від 1000 - 1800 об / хв (3), 800 - 1400 об / хв (4) за 10^5 од. ум. роб.

Отримані залежності також вказують на те, що при сталому режимі роботи і режимах з малим прискоренням колінчастого вала (до 4 с^{-2}) мінімальний знос спостерігається в межах еквівалентної швидкості колінчастого вала, рівної 1250–1600 об/хв. При великих навантаженнях і прискореннях знос деталей двигуна збільшується пропорційно зростанню швидкості колінчастого валу (рис. 3).

Висновки

В ході досліджень виявлені закономірності зношування деталей двигунів автомобільних кранів і встановлені найбільш вагомі експлуатаційні фактори, які приводять до прискореного руйнування поверхонь тертя.

Список використаних джерел:

1. Подоляк О. С. Особенности работы приводов автомобильных кранов при переходных процессах / О. С. Подоляк, А. В. Силка // Современные направления теоретических и прикладных исследований ‘ 2008. Т. 3 / Науч.-исслед. проектно-конструкторский ин-т морского флота Украины, ОНМУ, Морской учебно-консультационный центр «MarginECC» : сб. науч. тр. Международной научно-практической Интернет-конференции, (Одесса, 5-25 марта 2008 г.). – Одесса, 2008. – С. 34–36.
2. Канарчук В. Е. Долговечность и износ двигателей при динамических режимах работы / В. Е. Канарчук. – К. : Наукова думка, 1978. – 256 с.
3. Подоляк О. С. Исследование модели изменения ресурса силового агрегата автомобильного крана методом итерации / О. С. Подоляк, А. А. Мельниченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №. 6 (36). – С. 27–30.

Подоляк О.С. «Дослідження зношуваності двигунів внутрішнього згорання методом повної квадратики».

Проведені дослідження зношуваності деталей двигуна внутрішнього згорання при несталих режимах роботи з застосуванням методу повної квадратики, реалізація якого здійснювалась на програмованому стенді.

Ключові слова: знос, двигун, режим роботи, стенд, кривошипно-шатунний механізм, математична модель.

Подоляк О.С. «Исследование изнашиваемости двигателей внутреннего сгорания методом полной квадратики».

Проведены исследования изнашиваемости деталей двигателя внутреннего сгорания при неустановившихся режимах работы с помощью метода планирования эксперимента, реализация которого осуществлялась на программированном стенде.

Ключевые слова: износ, двигатель, режим работы, стенд, кривошипно-шатунный механизм, математическая модель.

Podolyak O.S. “Research of internal combustion engine wear with method of complete quadric”.

Internal combustion engine wear by transient condition with method of experimental design are researched. The method at programmed test bench was realized.

Key words: wear, engine, condition, test bench, crank mechanism, mathematical model.

Стаття надійшла до редакції 29 травня 2013 р.