

УДК 621.87

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАНOSTІ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ
МЕТОДОМ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ**©**Подоляк О. С., Назаркін О. А., Лабазов С. О.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Подоляк Олег Степанович: ORCID: 0000-0002-1477-8548; podoliak15os@gmail.com; завідувач кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Назаркін Олександр Анатолійович: ORCID: 0000-0003-1384-749X; podoliak15os@gmail.com; кандидат педагогічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Лабазов Сергій Олексійович: ORCID: 0000-0002-8461-7692; podoliak15os@gmail.com; студент факультету Комп'ютерних і інтегрованих технологій у виробництві і освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Виконано аналіз терміну служби приводу автомобільних кранів і встановлено причини передчасного руйнування поверхонь тертя основних деталей двигунів.

Проведені дослідження зношуваності деталей двигуна внутрішнього згоряння при несталіх режимах роботи з застосуванням методу планування експерименту, реалізація якого здійснювалась на програмованому стенді. Стохастичною моделлю кожного етапу випробувань були осцилограми з записами режимів роботи двигунів в реальних умовах експлуатації.

Отримані залежності зміни зносу двигунів від основних швидкісних і навантажувальних параметрів. Встановлено ступінь впливу кожного з цих параметрів на зношуваність двигунів внутрішнього згоряння.

Ключові слова: двигун; знос; режим роботи; стенд; кривошипно-шатунний механізм; математична модель; планування експерименту.

Подоляк О. С., Назаркин А. А., Лабазов С. А. «Исследование изнашиваемости двигателей внутреннего сгорания методом планирования эксперимента».

Выполнен анализ срока службы привода автомобильных кранов и установлены причины преждевременного разрушения поверхностей трения основных деталей двигателей.

Проведены исследования изнашиваемости деталей двигателя внутреннего сгорания при неустановившихся режимах работы с применением метода планирования эксперимента, реализация которого осуществлялась на программируемом стенде. Стохастической моделью каждого этапа испытаний были осциллограммы с записями режимов работы двигателей в реальных условиях эксплуатации.

Получены зависимости изменения износа двигателей от основных скоростных и нагрузочных параметров. Установлено степень влияния каждого из указанных параметров на изнашиваемость двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: двигатель; износ; режим работы; стенд; кривошипно-шатунный механізм; математическая модель; планирование эксперимента.

Динаміка та міцність машин**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			
	ЗІЛ - 130	ЯМЗ - 236	КАМАЗ – 740	ЗМЗ – 53
Автомагістралі за містом	5250	5400	5600	5350
Грунтові 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 вплив коефіцієнта динамічності, навантажувальних, швидкісних та температурних режимів роботи.

3. Планування експерименту

Дослідження моделі зносу двигуна 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:

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

де P_e – ефективне навантаження, W_p – інтенсивність зміни навантаження, ω – кутова швидкість колінчастого валу, j – прискорення колінчастого валу, k_D – коефіцієнт динамічності.

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

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



Рис. 1 – Загальний вид програмної установки

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 двигуна автомобільного крана в значній мірі залежить від значення коефіцієнта динаміки (рис. 2), інтенсивності зміни навантаження (рис. 3) і величини прискорень (рис. 4).

Так робота двигуна при несталих навантажувальних режимах ($0,4 - 0,8 \text{ мН/м}^2$) призводить до збільшення зносу 2,8 рази, робота приводу при зміні прискорення від 5 до 20 $1/\text{с}^2$ (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 зношуваність двигуна оказує значення коефіцієнта динаміки.

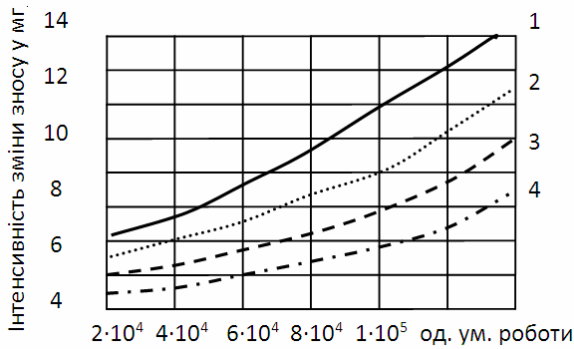
Динаміка та міцність машин

Рис. 2 – 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 - $K_d = 1,5$

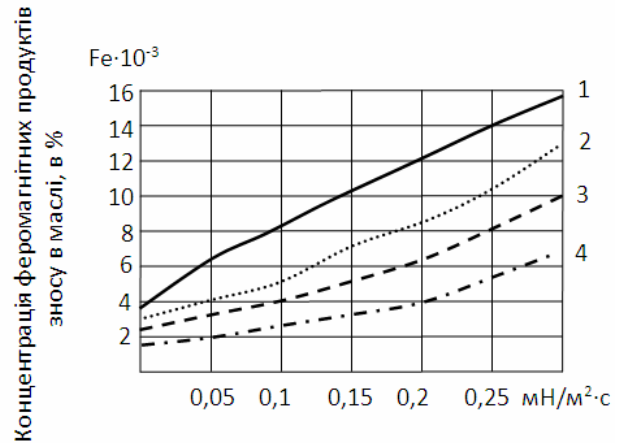


Рис. 3 – Вплив швидкості зміни навантаження на інтенсивність зносу двигуна ЗІЛ - 130 при зміні режиму від 0,7 - 0,8 мН/м^2 (1), від 0,6 - 0,7 мН/м^2 (2), від 0,5 - 0,6 мН/м^2 (3), 0,4 - 0,5 мН/м^2 (4) за 10^5 од. ум. роб.

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. 2, 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 несталіх динамічних режимах роботи автомобільних кранів в порівнянні з еквівалентними сталими режимами знос приводу зростає більш ніж в 3 рази.

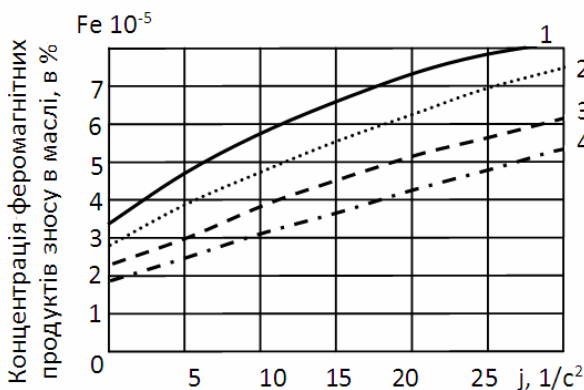


Рис. 4 – Вплив прискорення на інтенсивність зносу двигуна ЗІЛ - 130 при зміні режиму від 2000 - 3000 об / хв (1), від 1400 - 2200 об / хв (2), від 1000 - 1800 об / хв (3), 800 - 1400 об / хв (4) за 10^5 од. ум. роб.

Отримані залежності також вказують на те, що при сталому режимі роботи і режимах з малим прискоренням колінчастого вала (до 4 $1/c^2$) 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 вала (рис.4).

По концентрації продуктів зносу в пробах картерного масла, було досліджено зношування приводу автомобільного крана. Випробування проводилися на двигунах ЗІЛ - 130 і КАМАЗ - 740, що пройшли обкатку. Отримані дані за допомогою кореляційно-регресійного аналізу оброблялися на ЕОМ за програмою, яка складалася з чотирьох стандартних блоків: попереднього статистичного аналізу, множинного регресійного аналізу,

парного і множинного кореляційних аналізів. Застосування зазначеної програми дозволило з точністю до шостого знака виконати селективний відбір параметрів, виділивши основні чинники, що визначають знос двигуна. В результаті для кожного типу двигунів були отримані математичні моделі, що описують взаємозв'язок між швидкісними, навантажувальними і температурними параметрами та інтенсивністю зношування.

$$\left[\frac{du}{d\Theta} \right]_{ЗИЛ-130} = 0,004235 + 0,0325(K_D - 0,006) + 0,00556(W_p - 0,017) + 4,5(j - 4,634)10^{-5} + 7,6(W_{T.B} - 4,92)10^{-6};$$

$$\left[\frac{du}{d\Theta} \right]_{КАМАЗ-740} = 0,003945 + 0,03874(K_D - 0,0045) + 0,004151(W_p - 0,09) + 3,81(j - 2,75)10^{-5} + 5,98(W_{T.B} - 4,78)10^{-6}.$$

Аналіз отриманих моделей показав, що знос деталей двигуна визначають параметри (K_D ; W_p ; j ; $W_{m.в}$; $W_{m.м}$) які, як відомо, є похідними від основних параметрів (P ; n ; T_B ; T_M). При цьому встановлено, що динамічні параметри, які характеризують несталі режими роботи, істотно обумовлюють знос деталей двигуна. Найбільш вагомим є параметр K_D , значення якого в 2,4 - 4,6 рази перевершує значення інших, наступні за значимістю параметри W_p і j , в 1,3 - 3 рази перевершують інші.

Висновки

В ході досліджень виявлені закономірності зношування деталей двигунів автомобільних кранів і встановлені найбільш вагомні експлуатаційні фактори, які приводять до прискороного 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 : тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. – Одесса, 2008. – Т. 3. – С. 34-36.
2. 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. – Вып. 6 (36). – С. 27-30.

References

1. Podolyak, O & Silka, A 'Osobennosti raboty privodov avtomobilnykh kranov pri perekhodnykh protsessakh', *Sovremennyye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy, tezisy dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.*, Odessa, vol. 3, pp. 34-36.
2. Podolyak, O & Melnichenko, A 2008, 'Issledovaniye modeli izmeneniya resursa silovogo agregata avtomobilnogo kрана metodom iteratsii', *Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, iss. 6 (36), pp. 27-30.

Стаття надійшла до редакції 15 травня 2018 р.