

УДК 621.43.011

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАНOSTІ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ**

**©Подольак О. С., Малініна Ю. В.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### **Інформація про авторів:**

**Подольак Олег Степанович:** ORCID: 0000-0002-1477-8548; podoliak.09@rambler.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Малініна Юлія Володимирівна:** ORCID: 0000-0002-4124-0495; malina192006@yandex.ru; асистент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проведені дослідження зношуваності деталей двигуна внутрішнього згоряння при несталих режимах роботи з застосуванням методу планування експерименту, реалізація якого здійснювалась на програмованому стенді.

Встановлення закономірностей зношуваності деталей двигунів здійснювалось за допомогою багатомірної функції, що включала в себе такі параметри, як ефективне навантаження, інтенсивність його зміни, кутова швидкість колінчастого валу, прискорення колінчастого валу і коефіцієнт динамічності. Для рішення багатомірної функції застосовувались числові і фізичні методи моделювання.

Обробка результатів зносних випробувань показали, що інтенсивність зносу деталей двигунів при несталих навантажувальних режимах призводить до збільшення зносу в 2,8 рази. Також встановлено, що найбільший вплив на зношуваність оказує значення коефіцієнта динаміки.

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

**Подольак О. С., Малініна Ю. В.** «Исследование изнашиваемости двигателей внутреннего сгорания при эксплуатационных режимах работы».

Проведены исследования изнашиваемости деталей двигателя внутреннего сгорания при неустойчивых режимах работы. Использовался метод планирования эксперимента, реализация которого осуществлялась на программируемом стенде.

Определение закономерностей изнашиваемости деталей двигателей осуществлялось с помощью многомерной функции, включающей в себя такие параметры, как эффективная нагрузка, интенсивность ее изменения, угловая скорость коленчатого вала, ускорение коленчатого вала и коэффициент динамичности. Для решения многомерной функции применялись численные и физические методы моделирования.

Обработка результатов износных испытаний показала, что интенсивность износа деталей двигателей при неустойчивых нагрузочных режимах приводит к увеличению износа в 2,8 раза. Также установлено, что наибольшее влияние на изнашиваемость оказывает значение коэффициента динамики.

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

## Піднімально-транспортні машини

**Podoliak O., Malinina Yu.** “The research of the engine wearability during working conditions”.

The research of the wearability of engine components unstable working conditions is conducted. The method of experimental design was used. It's realization with programmed stand was done.

Estimation of the wearability behavior of engines components with multidimensional function was done. The multidimensional function included such parameters as effective weight, activity of its variation, angular velocity of crankshaft, acceleration of crankshaft and dynamic factor. For solution of multidimensional function numerical and physical simulation methods was applied.

Analysis of wear trials showed that activity of wear of engines components during unstable load conditions reduce to wear increasing 2,8 times more. Also is established that the most impact at wearability puts a dynamic factor value.

**Keywords:** engine; operating conditions; stand; crank gear; wear; mathematical model.

### 1. Актуальність роботи

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.

## Піднімально-транспортні машини

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,  $\omega$  – 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.

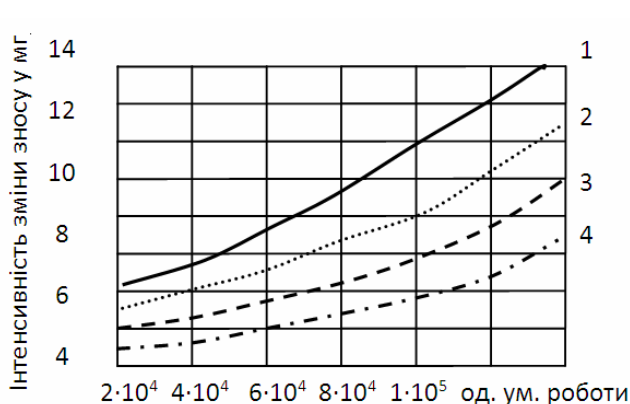
### 4. Обговорення результатів

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).

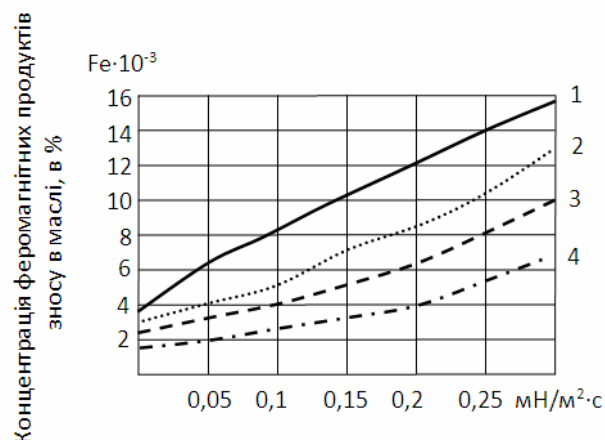
Так робота двигуна при несталих навантажувальних режимах ( $0,4-0,8 \text{ мН/м}^2$ ) призводить до збільшення зносу 2,8 рази, робота приводу при зміні прискорення від 5 до  $20 \text{ 1/с}^2$  (за  $1 \times 10^7$  од. ум. роботи) призводить до збільшення зносу деталей двигунів ЯМЗ–236 і КАМАЗ–740 – в середньому в 2,2 рази, ЗІЛ–130 – в 2,3 рази. Однак найбільший вплив на зношуваність двигуна оказує значення коефіцієнта динаміки. 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

**Піднімально-транспортні машини**

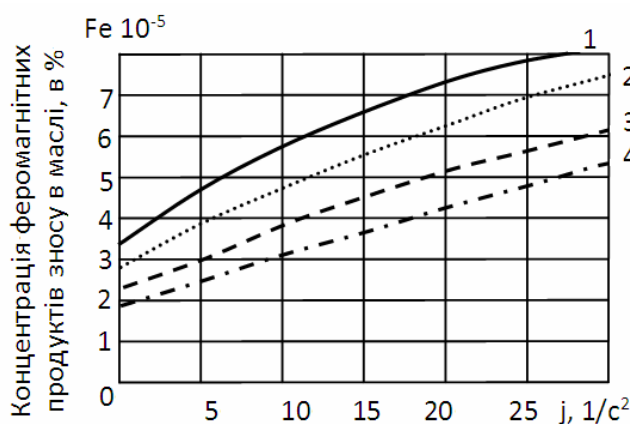
форму параболи. Аналізуючи експериментальні дослідження можна прийти до висновку, що незалежно від типів двигунів при несталіх динамічних режимах роботи автомобільних кранів в порівнянні з еквівалентними сталими режимами знос приводу зростає більш ніж в 3 рази.



**Рис. 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  $0,7-0,8 \text{ мН/м}^2$  (1), від  $0,6-0,7 \text{ мН/м}^2$  (2), від  $0,5-0,6 \text{ мН/м}^2$  (3),  $0,4-0,5 \text{ мН/м}^2$  (4) за  $10^5$  од. ум. роб.



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

**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: тез. 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 2008, 'Osobnosti raboty privodov avtomobilnykh kranov pri perekhodnykh protsessakh', *Sovremennye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy, Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Odessa, vol. 3, pp. 34–36.
2. Podolyak, O & Melnichenko, A 2008, 'Issledovaniye modeli izmeneniya resursa silovogo agregata avtomobilnogo kрана методом iteratsii', *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, iss. 6 (36), pp. 27–30.

Стаття надійшла до редакції 30 листопада 2015 р.