

УДК 621. 9. 06

Я.В. Шевченко, викладачЧернігівський державний інститут економіки і
управління, м. Чернігів, Україна**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДХИЛЕННЯ КРИВОШИПА
ВІД ОСІ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА**

Розглянуто питання, що пов'язані з корегуванням положення кривошипу в гідростатичній опорі, для підвищення експлуатаційних характеристик двигуна внутрішнього згорання. Проведено кореляційний аналіз зв'язків між розрахунковими і експериментальними параметрами модернізованої системи змащування гідроопори.

Ключові слова: гідроопора, система змащування, кореляція.***Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.***

Під час роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) мають місце відхилення кривошипу від осі гідростатичного підшипника, які призводять до металевого контакту і зменшення строку служби двигуна. Кореляція процесів відхилення при роботі ДВЗ дає змогу на основі використання модернізованої системи змащування гідростатичної опори керувати відхиленням кривошипа під час навантаження та перевантаження двигуна. Модернізація гідросистеми в свою чергу дає можливість для впровадження новітніх наукових розробок в галузі машино – та двигунобудування, для збільшення експлуатаційної спроможності машин та механізмів.

Аналіз літературних джерел. Дане дослідження базується на роботі [1] в якій представлена модернізована система змащування корінної гідроопори двигуна внутрішнього згорання автомобіля. В роботі [2] приведено методики аналізу просторового переміщення матеріальних та нематеріальних точок, розкрито зміст основних математичних залежностей для обчислення їх руху у просторі. Робота [3] розкриває алгоритм векторного моделювання ситуацій за допомогою програмного забезпечення MS Excel та методи його застосування на практиці. У працях [4, 5, 6], приведені основні математичні залежності для кореляційного аналізу, як економічних так і технічних показників. Розкрито принципи аналізу отриманих результатів за допомогою таблиць і графіків. У математичному довіднику [7] приведені основні векторні рівняння, які широко використовуються в математиці та механіці.

Постановка задачі. Для дослідження положення кривошипа відносно осі модернізованої гідростатичної опори в момент навантажень двигуна необхідно з'ясувати, зв'язок між теоретичними та експериментальними значеннями основних параметрів і на основі виявлених зв'язків визначити рівень невідповідності експлуатаційних показників ДВЗ з нормальними значеннями і прийняття рішення, щодо зміни параметрів спряження «кривошип – гідроопора».

Виклад основного матеріалу і результати.

Для проведення кореляційного аналізу виділяємо теоретичні та експериментальні значення параметрів, що визначають роботу модернізованої гідросистеми [1] і мають безпосередній вплив на відхилення кривошипа табл. 1.

Таблиця 1

Робоча рідина	Елементи											
	Тиск насоса, p , МПа		Витрата рідини, Q , м ³ /с		Зміщення вала в опорі, e , мкм		Величина зазору в опорі, δ , мкм		Радіальна несуча спроможність, R , кН		Перепад тиску на дроселі, Δq , Па	
В'язкість робочої рідини при $T = 100^\circ\text{C}$	теор.	експ.	теор.	експ.	теор.	експ.	теор.	експ.	теор.	експ.	теор.	експ.
1 Масило для циліндрів ГОСТ 1841-51 $\mu = 9-13$	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6 \pm 0,2$	$8,3 \cdot 10^5$	$8,16 \cdot 10^5$	14	14	26	26	5,04	3,5	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$
2 Автотракторне мастило АК 10 ГОСТ 1862-63 $\mu = 10$	$3,1 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^6 \pm 0,2$	$8,66 \cdot 10^5$	$8,22 \cdot 10^5$	13	13	27	27	4,83	3,0	$6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
3 Автотракторне мастило АК-15 ГОСТ 1862-63 $\mu = 15$	$3,5 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6 \pm 0,3$	$9,0 \cdot 10^5$	$8,93 \cdot 10^5$	7	7	33	33	2,94	2,5	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$

В табл. 1 представлено відхилення теоретичних та експериментальних параметрів модернізованої системи живлення гідроопори за рахунок похибок у вимірюваннях і розрахунках. Відхилення кривошипа від осі гідроопори, розглядається як система експериментальних та теоретичних точок отриманих для заданих параметрів у просторовій системі координат. Для суміщення отриманих експериментальних значень з розрахунковими потрібно скорегувати параметри, а саме

змінити значення p , Q , R на величину $\vec{\Delta}$. Для чого, використовуємо метод переміщення координат точок у просторі [7].

Векторна величина $\vec{\Delta}$, характеризуватиме зміну положення точки у просторі і визначатиметься як вектор, що поєднує початкове положення точки з кінцевим. Довжина вектора $\vec{\Delta}$ обчислюється за координатами точок (наприклад для точок A і A' рис. 1, а): $\vec{\Delta}_A = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$, де $s_x = X_A - X_{A'}$, $s_y = Y_A - Y_{A'}$, $s_z = Z_A - Z_{A'}$ – різниця між просторовими координатами точки. Довжина шляху який пройде точка визначиться сумою довжин всіх ділянок траєкторії переміщення, за відповідний проміжок часу: $\Delta t = t_2 - t_1$, або $\Delta l = \Delta l(t)$.

Шлях точки є скалярною величиною. Модуль вектора переміщення менший або рівний пройденому шляху $|\vec{l}| \leq \vec{\Delta}$. Тому приймаємо, що точка рухається під дією сил, які постійно змінюються і мають силову функцію $U(x, y, z, t)$ [2]. Тоді проекції сил на осі координат будуть:

$$X = \partial U / \partial x; Y = \partial U / \partial y; Z = \partial U / \partial z. \quad (1)$$

Вважатимемо, що рухома точка m в момент t_0 пройде через положення A в просторі, а в інший момент $t_1 > t_0$ – через положення A' (рис. 1).

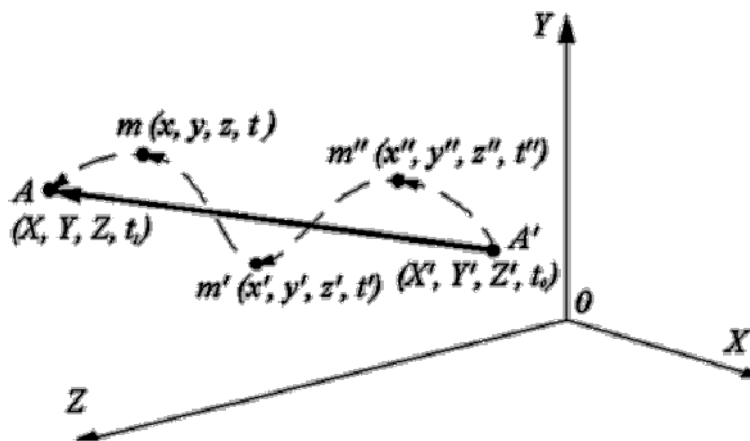


Рис. 1. Переміщення точки у просторі

Приймаємо момент часу t_0 та положення A' початковими, тоді момент часу t_1 і положення A – кінцевим. Це означає, що рівняння (1) визначають рух точки, який відбувається в дійсності. Разом з цим розглянемо нескінченну множину уявних рухів точки m , які повинні відповідати наступним умовам [2]:

1. Кожний уявний рух починається з дійсним рухом в момент t_0 і закінчується одночасно з дійсним рухом у момент t_1 .

2. Кожен уявний рух починається з початкового положення A' , для дійсного руху і закінчується в положенні A , яке є кінцевим для дійсного руху.

Таким чином, поряд з дійсним рухом вільної точки, який відбувається між положеннями A' і A за проміжок часу (t_0, t_1) , розглядаємо нескінченно близькі до дійсних можливі її переміщення, які всі відбуваються у тому ж проміжку A' та A , дійсного руху, в той самий час (t_0, t_1) .

Уявні рухи точки приймаємо аналітичним шляхом отримуючи три довільні функції часу $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\varphi_3(t)$ та параметр переміщення δ тоді переміщення точки буде знаходитись в межах координат: $\vec{x}(t) = x(t) + \delta\varphi_1(t)$, $\vec{y}(t) = y(t) + \delta\varphi_2(t)$, $\vec{z}(t) = z(t) + \delta\varphi_3(t)$, де t – змінюється від часу t_0 до t_1 . Для того, щоб переміщення відбувалося функції $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\varphi_3(t)$ повинні приходити до нульового значення у початковий і кінцевий моменти переміщення, тобто при $t = t_0$ і $t = t_1$ тоді: $\varphi_1(t_0) = \varphi_2(t_0) = \varphi_3(t_0) = 0$, $\varphi_1(t_1) = \varphi_2(t_1) = \varphi_3(t_1) = 0$.

При визначенні уявних переміщень здійснюється перехід від функцій $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ до функцій іншого вигляду. В результаті варіювання отримаємо наступні значення: $\chi_x = \delta\varphi_1(t)$, $\chi_y = \delta\varphi_2(t)$, $\chi_z = \delta\varphi_3(t)$. А оскільки вибір варіацій χ_x , χ_y , χ_z довільний, то існуватиме нескінченна множина кінематично можливих переміщень точки між заданими її положеннями у просторі.

На основі зазначеного аналітична задача формулюється таким чином: необхідно знайти значення яке визначає зв'язок між теоретичними та експериментальними значеннями, тобто характер впливу аргументів на функцію:

$$Y = f(x_n), \quad (2)$$

де Y – залежна лінійна змінна, x – факторні показники, n – номер елемента.

На положення кривошипа в гідро опорі впливає багато різних факторів, однак для розрахунку приймаємо такі, які матимуть суттєвий вплив на процес стабілізації положення колінвала в гідроопорі. Для визначення параметрів від яких найбільшою мірою залежить характер переміщень матеріальних точок системи (показників роботи кривошипу за умови використання різних рідин) скористаємося методом кореляційного аналізу.

При виборі параметрів, висуваються наступні вимоги: вони повинні бути кількісно вимірювані; жоден з них не знаходиться у функціональній залежності від іншого; розраховуються за існуючими даними.

Шість отриманих елементів розбиваємо на три комбінації. Для цілісності системи кожна з комбінацій матиме спільний елемент, який визначиться на основі кореляційного аналізу як такий, що впливатиме на зміни найбільшим чином.

Для проведення кореляційного аналізу визначаємо робочі параметри систем, які будуюмо в осях координат (XYZ) і виділяємо їх по факторах впливу (x_n) на лінійну змінну (Y):

1. Система ABC: (x_1) – тиск насоса p , МПа, ось (X); (x_2) – величина зазору δ , мкм, ось (Y); (x_3) – витрата рідини змащування Q , м³/с, ось (Z).
2. Система DFG: (x_4) – радіальна несуча спроможність R , кН – (X); (x_5) – зміна положення вала в опорі, e , мкм – (Y) та загальний параметр (x_1) – тиск насоса p , МПа – (Z). І як (x_6) виділяємо перепад тиску на дроселі, Δq , Па.

Використовуючи теоретичні та експериментальні значення параметрів, (табл. 1) будуюмо точки з просторовими координатами (X ; Y ; Z), для систем ABC і DFG, (рис. 2, а, б). Для побудови векторних моделей було використано тримірний простір програмного забезпечення Auto CAD.

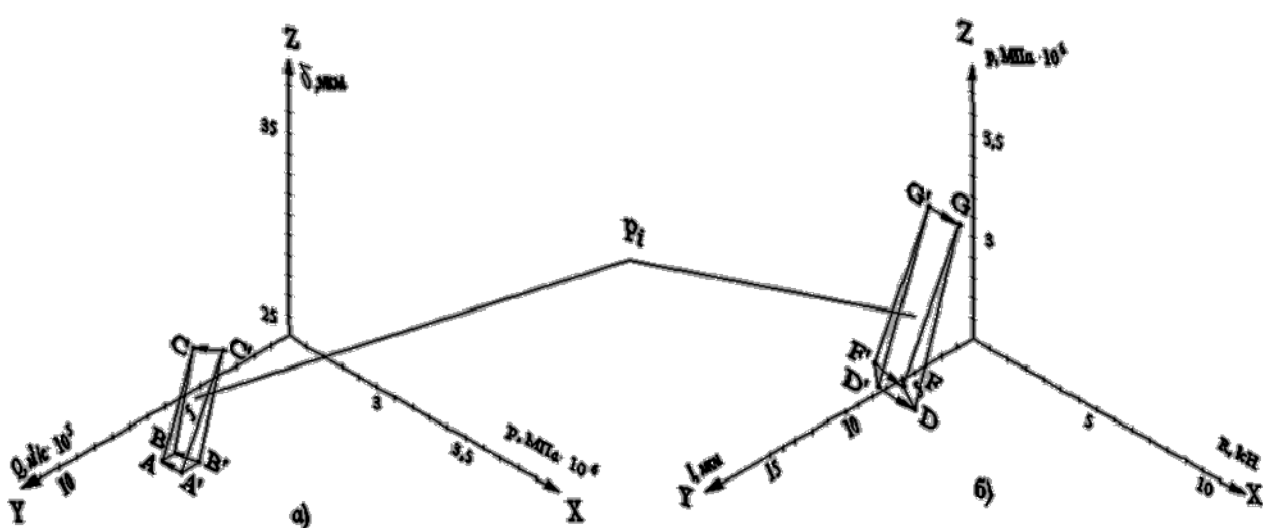


Рис. 2. Проекції точок систем розрахункових та експериментальних параметрів: а) – система параметрів ABC; б) – система параметрів DFG

Оцінка відхилень параметрів системи дозволить сумістити експериментальні параметри з робочими і тим самим визначити відхилення в спряженні «кривошип – гідроопора». А оскільки точки системи визначені, користуємося методом контролю управління параметрами [6]. Тобто виділяємо область p_i рис. 2 а, б, для якої проводимо розрахунки. Це означає, що завершення процесу переміщення є момент суміщення робочих та експериментальних значень елементів впливу. Кінцеве положення позначені точками A, B, C , які задовольняють умову[3]: $Y_{x_A} = f(x_{pi0})$, $Y_{x_B} = f(x_{pi0})$, $Y_{x_C} = f(x_{pi0})$, де x_{pi0} – розрахункове значення i -го елемента (табл. 1).

На практиці більшість залежностей мають нечіткий стохастичний характер. Тому кореляційний коефіцієнт визначаємо з початку кореляційного процесу, привівши його до безрозмірного вигляду. З табл.1 видно, що значення елементів систем мають різні властивості, це означає, що залежність матиме вигляд [4]:

$$r_{xp1,xp2} = \frac{\sum x_{p1i}x_{p2i} - \frac{\sum x_{p1i} \sum x_{p2i}}{N}}{\sqrt{\sum x_{p1i}^2 - \frac{(\sum x_{p1i})^2}{N}} \cdot \sqrt{\sum x_{p2i}^2 - \frac{(\sum x_{p2i})^2}{N}}}, \quad (3)$$

де $r_{xp1,xp2}$ – коефіцієнт кореляції між 1-м і 2-м елементами корегування; x_{p1i}, x_{p2i} – i -те значення 1-го та 2-го елементів корегування; N – кількість елементів корегування ($N = 6$).

Підставляючи відповідні значення елементів з табл.1 до (3) отримуємо значення кореляції між першим та другим параметрами при їх переміщенні: $r_{xp1,xp2} = 0,999999387$. Використовуючи програму MS Excel отримуємо кореляційні зв'язки між рештою елементів (табл. 2, 3).

Таблиця 2

Кореляційні зв'язки розрахункових параметрів x_{pi}

	x_{p1}	x_{p2}	x_{p3}	x_{p4}	x_{p5}	x_{p6}
x_{p1}	1	0,999999	0,999999	0,6004564	0,99671863	0,6701946
x_{p2}	0,999999387	1	0,999996	0,5997886	0,99666524	0,669576234
x_{p3}	0,99999876	0,999996	1	0,6014049	0,99679244	0,671072477
x_{p4}	0,600456438	0,599789	0,601405	1	0,66159369	0,995914246
x_{p5}	0,996718631	0,996665	0,996792	0,6615937	1	0,72660618
x_{p6}	0,6701946	0,669576	0,671072	0,9959142	0,72660618	1

Таблиця 3

Кореляційні зв'язки експериментальних параметрів x_{ei}

	x_{e1}	x_{e2}	x_{e3}	x_{e4}	x_{e5}	x_{e6}
x_{e1}	1	0,998770	0,888919	0,999043	0,95733442	0,94587074
x_{e2}	0,99877	1	0,910378	0,995682	0,97035659	0,96036942
x_{e3}	0,888919	0,910378	1	0,868078	0,97905947	0,98031762
x_{e4}	0,999043	0,995682	0,868078	1	0,94441912	0,93198334
x_{e5}	0,957334	0,970357	0,979059	0,944419	1	0,99886243
x_{e6}	0,945871	0,960369	0,980318	0,931983	0,99886243	1

Отримавши кореляційні коефіцієнти між розрахунковими та експериментальними значеннями, будемо графіки суміщення параметрів системи, рис. 3 а, для значень $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$, точки А розрахункової системи АВС, та рис. 3 б, для виявлення повного зв'язку всіх елементів системи АВС (рис 2, а).

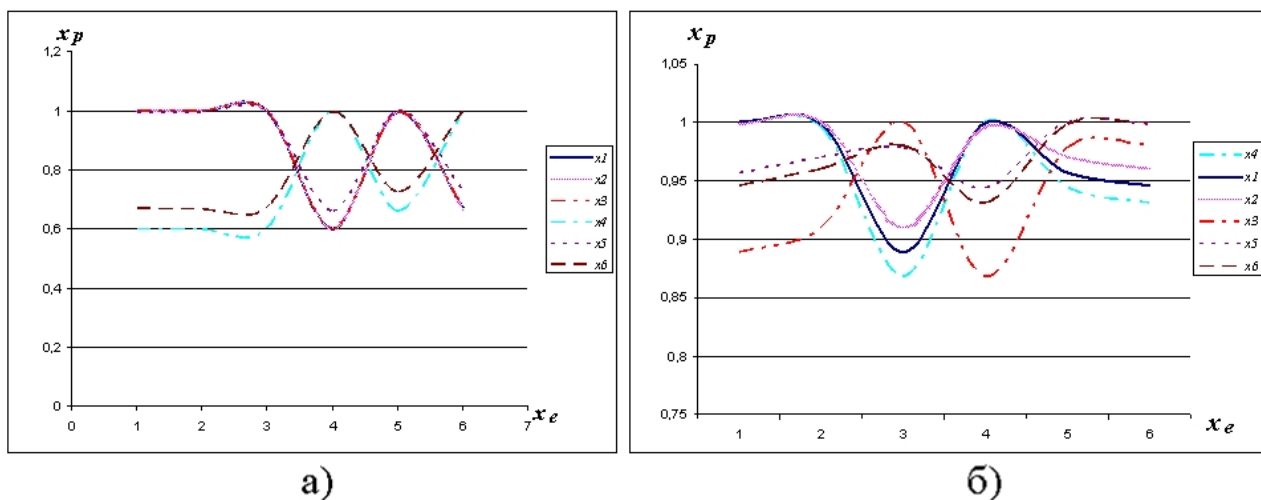


Рис. 3. Графік зв'язків між параметрами системи:

а) – для шістьох значень точки А системи АВС;

б) – зв'язок між розрахунковими та експериментальними значеннями точок АВС і А'В'С'

З табл. 2, 3 видно, що значення коефіцієнтів кореляції при переміщенні сягає 0,999999876. Оскільки аналіз застосовувався для попарного порівняння елементів розташованих у просторі, це дає змогу перейти до визначення зв'язку між окремими елементами.

Для визначення зв'язків між 1-м і 2-м елементами розрахункової систем скористаємось критерієм Ст'юдента [5, 6]:

$$t_{p_{xp1, xp2}} = \frac{r_{xp1, xp2} \cdot \sqrt{N - m}}{\sqrt{1 - r_{xp1, xp2}^2}}, \quad (4)$$

де m – кількість складових елементу.

Отримавши розрахункове значення критерію, порівнюємо його з табличним значенням [5, 6]. Для чого визначаємо число ступенів свободи системи ν : $\nu = N - m = 6 - 3 = 3$. За умови, що рівень значущості елементів $\alpha = 0,1$ і критерій Ст'юдента буде більшим за критичне його значення тобто: $t_{p_{xp1, xp2}} > t_{kp}$, тоді зв'язок між елементами систем буде істотним.

Результати порівняння розрахункового та експериментального значення за критерієм Ст'юдента приведено в тал. 4, 5.

Таблиця 4

Істотність зв'язку між розрахунковими елементами системи

	x_{p1}	x_{p2}	x_{p3}	x_{p4}	x_{p5}	x_{p6}
x_{p1}	-	1563,859	1099,790856	1,300583187	21,3278561	1,5640446
x_{p2}	1563,85918	-	645,6985724	1,298323033	21,1555925	1,561427745
x_{p3}	1099,790856	645,6986	-	1,303800059	21,5730498	1,567769834
x_{p4}	1,300583187	1,298323	1,303800059	-	1,52816533	19,10185364
x_{p5}	21,32785608	21,15559	21,57304978	1,528165333	-	1,831760639
x_{p6}	1,5640446	1,561428	1,567769834	19,10185364	1,83176064	-

Таблиця 5

Істотність зв'язку між експериментальними елементами системи

	x_{e1}	x_{e2}	x_{e3}	x_{e4}	x_{e5}	x_{e6}
x_{e1}	-	34,88220665	3,361221	39,57047	5,73790004	5,04800015
x_{e2}	34,88221	-	3,810801	18,57739	6,95433356	5,96780732
x_{e3}	3,361221	3,810800952	-	3,028751	8,33002746	8,6004507
x_{e4}	39,57047	18,57738919	3,028751	-	4,97585542	4,45306914
x_{e5}	5,7379	6,95433356	8,330027	4,975855	-	36,281508
x_{e6}	5,048	5,967807323	8,600451	4,453069	36,281508	-

Виходячи з того, що розрахунковий критерій Ст'юдента дорівнює: $t_{p_{xp1, xp2}} = 1,732050808$. Визначаємо критичне його значення.

Отримані результати заносимо до табл. 6, 7.

Таблиця 6

Критичне значення зв'язків між розрахунковими елементами системи

	x_{p1}	x_{p2}	x_{p3}	x_{p4}	x_{p5}	x_{p6}
x_{p1}	-	1561,509	1097,441	-1,0494	18,978	-0,786
x_{p2}	1561,50918	-	643,349	-1,0517	18,806	-0,789
x_{p3}	1097,440856	643,349	-	-1,0462	19,223	-0,782
x_{p4}	-1,049	-1,052	-1,046	-	-0,822	16,752
x_{p5}	18,978	18,806	19,223	-0,8218	-	-0,518
x_{p6}	-0,786	-0,789	-0,782	16,7519	-0,518	-

Таблиця 7

Критичне значення зв'язків між експериментальними елементами системи

	x_{e1}	x_{e2}	x_{e3}	x_{e4}	x_{e5}	x_{e6}
x_{e1}	-	32,532	1,011	37,220	3,388	2,698
x_{e2}	32,532	-	1,461	16,227	4,604	3,618
x_{e3}	1,011	1,461	-	0,679	5,980	6,250
x_{e4}	37,220	16,227	0,679	-	2,626	2,103
x_{e5}	3,388	4,604	5,980	2,626	-	33,932
x_{e6}	2,698	3,618	6,250	2,103	33,932	-

Таким чином отримуємо критичне значення критерію Ст'юдента, яке дорівнює: $t_{kp} = 2,35$, а виходячи з умови $t_{p_{xp1}, xp2} > t_{kp}$, можемо сказати, що зв'язок між елементами системи буде не істотним тому, що $1,732050808 < 2,35$. Це видно з графіків, приведених рис. 3 а, б.

Тобто для всіх трьох прийнятих мастил основним корегуючим параметром буде тиск у системі p , МПа (x_1), який матиме вплив на всі вище прийняті параметри: величину зазору δ , мкм (x_2), витрати рідини змащування Q , м³/с (x_3), радіальну несучу спроможність R , кН (x_4), зміну положення вала в опорі, e мкм (x_5) та перепад тиску на дроселі, Δq , Па (x_6).

В свою чергу, витрата Q , м³/с (x_3) змінюватиметься залежно від в'язкості рідини і для кожного окремо прийнятого мастила рис. 1 а, її вплив буде значним, а для всіх елементів розглядуваних систем стає осередненим. Звідки і параметри елементів x_5 – зміна положення вала в опорі e , мкм та x_6 – перепад тиску на дроселі Δq , Па також залежатиме від типу відповідно прийнятої рідини змащування.

Висновки і направлення подальших досліджень.

1. Провівши кореляційний аналіз встановлено, що зв'язок між елементами системи є не істотним.

2. Головними чинниками впливу на кореляцію параметрів, що визначають положення кривошипа в гідроопорі будуть тиск p , МПа незалежно від типу рідини змащування та витрата рідини Q , м³/с, яка залежатиме від в'язкості робочої рідини.

В подальшому планується проведення експериментальних досліджень на двигуні внутрішнього згорання в робочих умовах.

Список літератури

1. Сахно Ю.О. Компенсація зміщення колінчатого валу двигуна внутрішнього згорання під навантаженням / Ю.О. Сахно, Є.Ю. Сахно, Я.В. Шевченко // Вісник Чернігівського Технологічного Університету. Серія технічні науки. – 2009. – № 40. – С. 114-118.

2. Кильчевский Н.А. Основы теоретической механики / Н.А. Кильчевский, Н.И. Ремизова, Е.Н. Кильчевская. – К, 1986. – 295 с.
3. Сахно Є.Ю. Системні аспекти управління інноваційно-інвестиційними проектами стратегічного розвитку підприємства: монографія / Є.Ю. Сахно, М.С. Дорош, А.В. Ребенок. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2008. – 260с.
4. Сидоренко А.В. Статистика // А.В. Сидоренко, Г.Ю. Попов. – М.: «Дело и Сервис», 2000. – 312 с.
5. Кейн Э. Экономическая статистика и эконометрия / Э. Кейн. – М.: Экономика, 1977. – 66 с.
6. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
7. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике // М.Я. Выгодский. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 412с.

Стаття надійшла до редколегії 13.10.2011.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.Ю. Сахно

Я.В. Шевченко. *Исследование процессов отклонения коленвала от оси гидростатического подшипника. Рассмотрены вопросы, связанные с коррекцией положения коленвала в гидростатической опоре, для повышения эксплуатационных характеристик двигателя внутреннего сгорания. Проведен корреляционный анализ связей между расчетными и экспериментальными параметрами модернизированной системы смазки гидроопоры.*

Ключевые слова: гидроопора, система смазки, корреляция.

Ya. Shevchenko. *Investigation of Deviation from the Crank Axis Hydrostatic Bearing. The questions related to the adjustment of the position of the crank in hydrostatic bearing, to improve the performance of internal combustion engine, are considered. A correlation analysis of connection between the calculated and experimental parameters of a modernized hydrostatic bearing lubrication system is conducted.*

Keywords: hydrostatic bearing, lubrication system, correlation.

© Шевченко Я.В., 2011