

УДК 631.3

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ «ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ЗНОС»

**Іванов В.І. к.т.н., доц; Савченко В.Б. к.т.н., доц.; Кухтов В.Г.
д.т.н., проф.; Концевич О.А. ст.викл.; Юрєва Г.П.**
*Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка*

Мета роботи: Вивчити методику розрахунку коефіцієнта прискорення при визначенні режимів прискорених стендових випробувань на знос.

Зазвичай приймається, що знос U описується степеневою функцією виду:

$$U = a \cdot t^v, \quad (1)$$

де a і v - параметри, що характеризують працездатність об'єкта.

Параметр a – це випадкова величина, яка залежить від сполучення різноманітних факторів (конструктивних, виробничих, силових, абразивних, кліматичних та ін.) і може змінюватись в досить широких межах. Параметр v для одного найменування виробу зазвичай змінюється незначно, і його величина, визначена за результатами раніше проведених експериментів, при розрахунках приймається постійною (табл.1).

Таблиця 1. Значення параметра v

1	Знос плунжерних пар паливного насосу	1,1
2	Зазор між клапаном і коромислом механізму газорозподілу	1,1
3	Зазори в кривошипно-шатунному механізмі	1,2÷1,6
4	Знос кулачків розподільчого валу	1,1
5	Радіальний зазор в підшипниках кочення і ковзання	1,5
6	Знос посадочних гнізд корпусних деталей	1,0
7	Знос зубів шестерень за товщиною	1,5
8	Знос валиків, пальців і осей	1,4
9	Знос накладок гальм та дисків муфт зчеплення	1,0
10	Знос втулочно-роликового ланцюга (подовження кроку)	1,0

У випадку, коли величина зносу досягає граничного значення $U=U_{zp}$, (рис.1) настає відмова при наробітках T_e і T_{np} відповідно в експлуатації і в умовах прискорених випробувань.

Для експлуатаційного режиму роботи об'єкту, що зношується

$$U_{zp} = a_e \cdot T_e^v, \quad (2)$$

а при прискорених стендових випробуваннях відповідно:

$$U_{np} = a_{np} \cdot t_{np}^v, \quad (3)$$

де U_{np} - величина зносу об'єкта при наробітку t_{np} до моменту припинення випробувань.

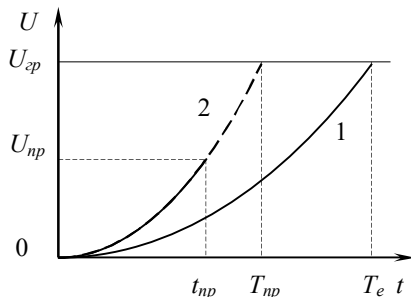


Рисунок 1. – До визначення коефіцієнтів прискорення при зносі:
1 – експлуатаційні випробування; 2 – прискорені випробування

Припиняти випробування слід тоді, коли результати контролю величини зносу дозволять встановити закономірність зміни його у часі і, на цієї підставі, прогнозувати настання відмови.

Візьмемо відношення відповідно лівих і прaviх частин залежностей (2) і (3):

$$\frac{U_{sp}}{U_{np}} = \frac{a_e}{a_{np}} \left(\frac{T_e}{t_{np}} \right)^v. \quad (4)$$

Тут $\frac{T_e}{t_{np}} = K_{np1}$, а відношення $\frac{U_{sp}}{U_{np}}$ і $\frac{a_e}{a_{np}}$ слід розуміти як характеристики режимів прискорених випробувань.

Розв'яжемо отримане рівняння відносно K_{np1} :

$$K_{np1} = \left(\frac{U_{sp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{v}} \left(\frac{a_{np}}{a_e} \right)^{\frac{1}{v}}.$$

Будемо вважати, що параметри a_e і a_{np} є функціями зусилля навантаження Q і відносної швидкості V переміщення деталей, що зношуються в експлуатації і при прискорених випробуваннях (відповідно з індексами "e" і "np")

$$a_e = Q_e^\beta \cdot V_e^\alpha; \quad (5)$$

$$a_{np} = Q_{np}^{\beta} \cdot V_{np}^{\alpha},$$

де β і α – емпіричні коефіцієнти.

Тоді

$$K_{np1} = \left(\frac{U_{zp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{\nu}} \left(\frac{Q_{np}}{Q_e} \right)^{\frac{\beta}{\nu}} \left(\frac{V_{np}}{V_e} \right)^{\frac{\alpha}{\nu}}. \quad (6)$$

У наведеному виразі можна вважати, що відношення $\frac{U_{zp}}{U_{np}}$ є характеристикою режиму прискорених випробувань, яка визначає величину коефіцієнта прискорення шляхом прогнозування результатів випробувань

$$K_{np1n} = \left(\frac{U_{zp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{\nu}}; \quad (7)$$

відповідно відношення $\frac{Q_{np}}{Q_e}$ і $\frac{V_{np}}{V_e}$ – характеристиками режиму збільшення жорсткості випробувань, перше - за рахунок підвищення силового, а друге – швидкісного режимів навантаження.

Вони визначають величини коефіцієнтів переходу K_{nQ} і K_{nV} :

$$K_{nQ} = \left(\frac{Q_{np}}{Q_e} \right)^{\frac{\beta}{\nu}} \quad \text{і} \quad K_{nV} = \left(\frac{V_{np}}{V_e} \right)^{\frac{\alpha}{\nu}}. \quad (8)$$

Практика вказує на те, що прискорені випробування дають прийнятні результати при наступних співвідношеннях факторів, які входять у рівняння (6):

$$1,0 \leq \frac{Q_{np}}{Q_e} \leq 1,54; \quad 1,0 \leq \frac{V_{np}}{V_e} \leq 1,33; \quad 1 \leq \frac{U_{zp}}{U_{np}} \leq 2.$$

При подальших розрахунках, як показує досвід, можливо прийняти значення $\beta=1,382$ і $\alpha=0,96$. У таблиці 2 наведені діапазони можливих значень коефіцієнтів K_{nQ} , K_{nV} , K_{np1n} і K_{np1} (при $\beta = 1,382$; $\alpha = 0,96$).

Коефіцієнти прискорення K_{np2} і K_{np3} визначаються за наведеними вище залежностями.

Маючи у наявності особисті реальні дані що до режимів роботи конкретної деталі, слід скористатися наведеною методикою для розрахунку коефіцієнта прискорення.

Таблиця 2. Діапазон можливих значень коефіцієнтів K_{nQ} , K_{nV} , K_{np1n} і K_{np1}

Коефіцієнт ν	Для більш жорсткого режиму випробувань				Прогнозування		K_{np1}
	силового		швидкісного				
	$\frac{Q_{np}}{Q_e}$	K_{nQ}	$\frac{V_{np}}{V_e}$	K_{nV}	$\frac{U_{cp}}{U_{np}}$	K_{np1n}	
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,54	1,816	1,33	1,315	2	2,0	4,78
2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2,0	1,54	1,35	1,33	1,15	2	1,414	2,2

Індивідуальні завдання

Під час виконання індивідуального завдання за вихідними даними (табл. 3) підібрати режими цілодобових прискорених випробувань, забезпечуючи (якщо це необхідно), задане значення коефіцієнта прискорення $[K_{np}]$ варіюванням даних колонок 3, 5, 6 і 7 табл. 3.

Таблиця 3. Вихідні дані до завдання що до вибору режимів стендових випробувань на знос

№ строки	$[K_{np}]$	K_{np3}	ν	$\frac{Q_{np}}{Q_e}$	$\frac{V_{np}}{V_e}$	$\frac{U_{cp}}{U_{np}}$	t_{e2}
	а	б	в	а	б	в	а
1	15	2,60	1,1	1,10	1,03	2,0	8,0
2	20	2,70	1,2	1,15	1,07	1,9	10,0
3	25	2,80	1,3	1,20	1,10	1,8	12,0
4	30	2,90	1,4	1,25	1,14	1,7	14,0
5	35	3,00	1,5	1,30	1,17	1,6	16,0
6	35	3,10	1,6	1,35	1,20	1,5	16,0
7	30	3,20	1,7	1,40	1,23	1,4	14,0
8	25	3,30	1,8	1,45	1,26	1,3	12,0
9	20	3,40	1,9	1,50	1,30	1,2	10,0
0	15	3,50	2,0	1,54	1,33	1,1	8,0

Приклад.

Підібрати режими прискорених стендових випробувань на знос пальців гусеничного ланцюга трактора Т-150 таким чином, щоб коефіцієнт прискорення випробувань складав $[K_{np}]=25$.

Вихідні дані: $\nu=1,1$; $t_{e2}=8$ год; $t_{np2}=24$ год; $\frac{U_{cp}}{U_{np}}=2$.

Спочатку підрахувати коефіцієнт прискорення K_{np} під час роботи стенда в ущільненому за часом режимі випробувань.

Якщо отримане значення K_{np} виявиться менше потрібного значення $[K_{np}] = 24,5$, то подальше прискорення випробувань забезпечити за рахунок збільшення жорсткості швидкісного режиму. При цьому збільшення жорсткості швидкісного режиму не має перевищувати 10% від номінального,

$$\text{тобто } \left[\frac{V_{np}}{V_e} \right] = 1,1.$$

Подальше прискорення випробувань до значення $K_{np} = [K_{np}]$ реалізувати за рахунок підвищення жорсткості силового режиму навантаження.

Розв'язок.

Прискорення випробувань забезпечуємо, по перше, за рахунок ущільнення випробувань, і, по друге, за рахунок підвищення жорсткості швидкісного і силового режимів випробувань.

Режим ущільнених випробувань досягається за рахунок:

- прогнозування результатів випробувань, що характеризується коефіцієнтом прискорення K_{np1n} , якій дорівнює (формула 7)

$$K_{np1n} = \left(\frac{U_{sp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{v}} = 2^{1,1} = 1,88;$$

- збільшення тривалості роботи стенда продовж доби, що характеризується коефіцієнтом K_{np2}

$$K_{np2} = \frac{t_{np2}}{t_{e2}} = \frac{24}{8} = 3;$$

- максимального "ущільнення" циклів навантаження пальців гусеничного ланцюга, що характеризується коефіцієнтом прискорення K_{np3max} :

$$K_{np3max} = \frac{1}{n_3} \cdot \frac{t_3}{t_{y3}}. \quad (9)$$

Для визначення величини коефіцієнта K_{np3max} розглянемо схему роботи гусеничного ланцюга трактора (рис.2).

Будемо вважати, що за один оберт гусеничного ланцюга впродовж часу t_3 , що відповідає його довжині L_l

$$L_l = 2l + \pi D, \quad (10)$$

де l - відстань між осями ведучої зірочки і колеса;

D - діаметр зірочки (колеса),

відбуваються два перегини шарніра - по одному відповідно на зірочці та на колесі. Отже, $n_{e3} = 2$.

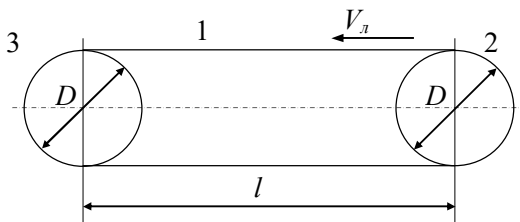


Рисунок 2. Схема гусеничного ланцюга трактора:
1 – ланцюг гусеничний; 2 - зірочка ведуча; 3 - колесо

Довжина шляху $l_{ш}$, пройденого шарніром ланцюга кожен раз на зірочці або колесі, дорівнює

$$l_{ш} = \frac{\pi D}{2}; \quad (11)$$

і цей шлях відповідає тривалості одного циклу навантаження $t_{ц3}$.

Виразимо довжину ланцюга L_l і шлях шарніра $l_{ш}$ через швидкість руху ланцюга V_l і відповідний час t_3 :

$$L_l = V_l \cdot t_3; \quad l_{ш} = V_l \cdot t_{ц3}.$$

Виключивши з останніх виразів V_l , знайдемо з урахуванням (10) і (11) відношення

$$\frac{t_3}{t_{ц3}} = \frac{L_l}{l_{ш}} = \frac{2(2l + \pi D)}{\pi D},$$

і з урахуванням цього, визначимо $K_{np3\max}$ з (9):

$$K_{np3\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2(2l + \pi D)}{\pi D} = \frac{2l}{\pi D} + 1.$$

Для трактора Т-150 $l=2604$ мм; $D=604$ мм. Тоді

$$K_{np3\max} = \frac{2 \cdot 2604}{3,14 \cdot 604} + 1 = 3,75.$$

Максимально можливе розрахункове значення загального коефіцієнта прискорення при обраних режимах прискорених випробувань складає:

$$K_{np} = K_{np1n} \cdot K_{np2} \cdot K_{np3} = 1,88 \cdot 3 \cdot 3,75 = 21,15,$$

що менше за потрібне $[K_{np}]=24,5$.

Подальше збільшення коефіцієнта прискорення K_{np} можливе за рахунок підвищення жорсткості швидкісного і силового режимів навантаження.

Збільшення значення коефіцієнта прискорення, якого не вистачає

$$K'_{np} = \frac{24,5}{21,15} = 1,16$$

можливо забезпечити збільшенням жорсткості швидкісного режиму.

Тоді на підставі (8) маємо:

$$K_{nV} = \left(\frac{V_{np}}{V_e} \right)^{\frac{0,96}{1,1}} = 1,16, \quad \text{звідки} \quad \frac{V_{np}}{V_e} = 1,16^{\frac{1,1}{0,96}} = 1,19.$$

Як видно, при такому режимі $\frac{V_{np}}{V_e}$ більше допустимого $\left[\frac{V_{np}}{V_e} \right] = 1,1$.

Допустиме значення коефіцієнта K_{nV} , що відповідає допустимому значенню $\left[\frac{V_{np}}{V_e} \right] = 1,1$, складає:

$$[K_{nV}] = \left[\frac{V_{np}}{V_e} \right]^{\frac{0,96}{1,1}} = 1,1^{\frac{0,96}{1,1}} = 1,09.$$

Тепер $K'_{np} = 1,88 \cdot 3 \cdot 3,75 \cdot 1,09 = 23,05$.

Таке значення K'_{np} все ще менше за потрібне $[K_{np}] = 24,5$.

Величину коефіцієнта прискорення K_{np}^* , якої не вистачає, слід забезпечити за рахунок підвищення жорсткості силового режиму навантаження:

$$K_{np}^* = \frac{24,5}{23,05} = 1,06.$$

В цьому випадку, з урахуванням (8), коефіцієнт переходу K_{nQ} має дорівнювати:

$$K_{nQ} = \left(\frac{Q_{np}}{Q_e} \right)^{\frac{1,382}{1,1}} = 1,06, \quad \text{звідки} \quad \frac{Q_{np}}{Q_e} = 1,06^{\frac{1,1}{1,382}} = 1,05.$$

Таким чином, щоб результати випробувань були отримані з коефіцієнтом прискорення $[K_{np}] = 24,5$, режими випробувань мають бути такими:

- випробування проводити цілодобово ($K_{np2} = 3$);
- з ущільненим режимом циклів навантаження ($K_{np3} = 3,75$);
- підвищення жорсткості випробувань забезпечити за рахунок збільшення швидкісного режиму у $\frac{V_{np}}{V_e} = 1,1$ рази, що забезпечує значення

$K_{nV}=1,09$, і силового - у $\frac{Q_{np}}{Q_e}=1,05$ рази, що дає значення $K_{nQ}=1,06$.

При таких режимах випробувань коефіцієнт прискорення K_{np} дорівнює

$$K_{np} = K_{np1n} \cdot [K_{nV}] \cdot K_{nQ} \cdot K_{np2} \cdot K_{np3} = 1,88 \cdot 1,09 \cdot 1,06 \cdot 3 \cdot 3,75 = 24,44,$$

що достатньо наближено до потрібного $[K_{np}]=25$.

Якщо палець гусеничного ланцюга трактора має експлуатаційний ресурс $T_e=4000$ мото-год, то при 8-годинній добовій роботі машини ($t_{e2}=8$ год.) він досягне граничного стану за $\frac{T_e}{t_{e2}} = \frac{4000}{8} = 500$ календарних діб.

При прискорених випробуваннях той же результат буде досягнутий у $K_{np}=24,44$ рази швидше, тобто за $\frac{500}{24,44} = 20,46$ діб.

Щоб отримати експлуатаційний ресурс T_{np} , необхідно тривалість випробувань, виражену у годинах, помножити на коефіцієнт прискорення при $K_{np2}=1$, тобто на величину

$$\frac{K_{np}}{K_{np2}} = \frac{24,44}{3} = 8,15.$$

Література

1. Анилович В.Я. Надежность машин в задачах и примерах./ В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко – Харьков: Око, 2001. – 320 с.
2. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль – Х.:Віровець А.П. «Апостроф», 2012. – 259 с.