

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра надійності та міцності машин і споруд
імені В.Я. Аніловича

ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ВТОМНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ

Методичні вказівки
до виконання практичної роботи

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання зі спеціальності

133 Галузеве машинобудування

Затверджено рішенням
Методичної ради
ФМІ ДБТУ
Протокол № 1
Від 20.01.2022 р.

Харків
2022

УДК 631.3

Схвалено на засіданні кафедри надійності та міцності
машин і споруд імені В.Я. Аніловича

протокол № 5 від 19 січня 2022 р.

Випробування і контроль надійності. Прискорені випробування на втомну довговічність: методичні вказівки до виконання практичної роботи для студентів денної та заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти, спеціальності 133 Галузеве машинобудування; Харків. Державний біотехнологічний університет; уклад.: В.І. Іванов, О.І. Алфьоров, М. В. Сліпченко, В.Б. Савченко – Харків : [б. в.], 2022.–10с.

Методичні вказівки призначені для набуття практичних навичок з оцінки коефіцієнту прискорення та режимів прискорених стендових випробувань на втомну довговічність.

Розглядаються методика оцінки коефіцієнту прискорення під час прискорених стендових випробувань на втомну довговічність.

Рецензенти:

А. К. Автухов, д-р техн. наук, завідувач кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні ім. О.І. Сідашенка Державного біотехнологічного університету.

М. Л. Шуляк, д-р техн. наук, завідувач кафедри тракторів і автомобілів Державного біотехнологічного університету.

Відповідальний за випуск: В. Б. Савченко, к.т.н., доцент.

© Іванов В.І., Алфьоров О.І.,
Сліпченко М.В., Савченко В.Б.

© ДБТУ, 2022

ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ВТОМНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ

Мета роботи: Вивчити методику оцінювання коефіцієнту прискорення та визначення режимів прискорених стендових випробувань на втомну довговічність.

Процес лінійного накопичення втомних пошкоджень у деталі за час її роботи t характеризується величиною міри пошкодження:

$$D = D_{(1)} \cdot t, \quad (1)$$

де $D_{(1)}$ – міра пошкодження за одиницю часу.

Втомна відмова настає при $D=1$.

На рис.1 показані реалізації процесів лінійного накопичення пошкоджень під час роботи деталі у експлуатаційному режимі випробувань 1 і у режимах прискорених випробувань 2.

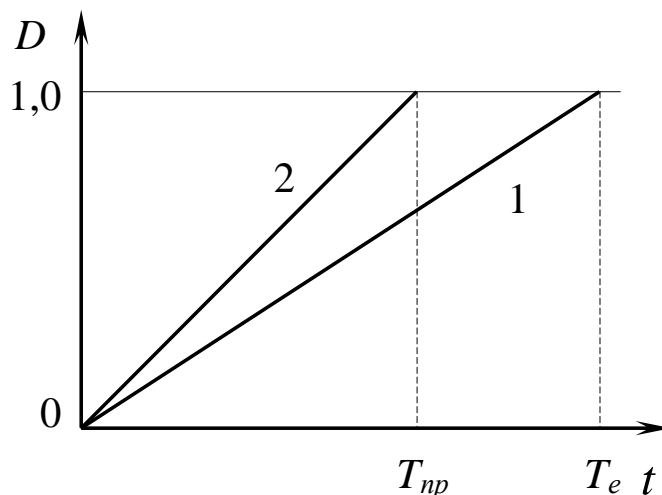


Рис.1. До визначення коефіцієнту прискорення під час випробувань на втому:
1 - експлуатаційні випробування; 2 - прискорені випробування

Наробіток до відмови складають відповідно T_e і T_{np} , що відповідає значенням мір пошкодження $D_e=1$ і $D_{np}=1$.

Будемо вважати, що прискорені випробування проводяться до настання відмови впродовж часу T_{np} . З рис.1 виходить:

- для експлуатаційного режиму

$$1 = D_{(1)e} \cdot T_e; \quad (2)$$

- для прискорених випробувань

$$1 = D_{(1)np} \cdot T_{np}. \quad (3)$$

Взявши відношення відповідно лівих і правих частин залежностей (2) і (3) і розв'язавши рівняння відносно $\frac{T_e}{T_{np}}$, отримаємо:

$$\frac{T_e}{T_{np}} = \frac{D_{(1)np}}{D_{(1)e}}$$

Відношення $\frac{T_e}{T_{np}}$ визначає коефіцієнт прискорення K_{np1} , який є також коефіцієнтом переходу K_{nQ} :

$$\frac{T_e}{T_{np}} = K_{np1} = K_{nQ}. \quad (4)$$

Під час випробувань з навантаженням дискретним спектром, що складається з k амплітуд циклічних навантажень, які відрізняються за величиною, з урахуванням поняття еквівалентної за числом циклів навантаження до руйнування об'єкту амплітуди, представимо $D_{(1)e}$ і $D_{(1)np}$ у наступному вигляді:

$$D_{(1)e} = \frac{\sigma_{ae1}^m \cdot \left[\alpha_{e1} + \sum_{i=2}^k \left(\frac{\sigma_{aei}}{\sigma_{ae1}} \right)^m \cdot \alpha_{ei} \right] \cdot \Delta n_{\text{сум}}}{\sigma_{-1}^m \cdot N_0 \cdot T_3}; \quad (5)$$

$$D_{(1)np} = \frac{\sigma_{anp1}^m \cdot \left[\alpha_{np1} + \sum_{i=2}^k \left(\frac{\sigma_{anpi}}{\sigma_{anp1}} \right)^m \cdot \alpha_{npi} \right] \cdot \Delta n_{\text{сум}}}{\sigma_{-1}^m \cdot N_0 \cdot T_3} \quad (6)$$

У наведених залежностях (5) і (6):

σ_{aei} і σ_{anpi} – еквівалентні амплітуди напруження відповідно під час навантаження деталі в експлуатації і в умовах прискорених випробувань;
 α_{ei} і α_{npi} – долі циклів навантаження з амплітудами σ_{aei} і σ_{anpi} у загальному процесі навантаження відповідно в експлуатації і під час прискорених випробувань, при цьому $\sum_{i=1}^k \alpha_{ei} = 1$; $\sum_{i=1}^k \alpha_{npi} = 1$;

σ_{ae1} і σ_{anp1} – максимальна амплітуда спектру навантаження відповідно в експлуатації і під час прискорених випробувань;

$\Delta n_{\text{сум}}$ – сумарне число циклів навантаження за визначений термін T_e ;

σ_{-1} і N_0 – відповідно границя витривалості матеріалу і база випробувань - характеристики втомних властивостей матеріалу;

m – параметр нахилу степеневі кривої втоми;

T_e – час виміру (запису) напружень.

Тепер, з урахуванням (5) і (6) коефіцієнт переходу K_{nQ} (4) може бути представлений у такому вигляді:

$$K_{nQ} = \left(\frac{\sigma_{anp1}}{\sigma_{ae1}} \right)^m \cdot \frac{\alpha_{np1} + \sum_{i=2}^k \left(\frac{\sigma_{anpi}}{\sigma_{anp1}} \right)^m \cdot \alpha_{npi}}{\alpha_{ae1} + \sum_{i=2}^k \left(\frac{\sigma_{aei}}{\sigma_{ae1}} \right)^m \cdot \alpha_{ei}}.$$

(7)

Під час використання залежності (7) слід враховувати тільки пошкоджуючі амплітуди експлуатаційних напружень, які $\sigma_{aei} > 0,6 \cdot \sigma_{-1}$.

Розглянемо порядок визначення коефіцієнту переходу K_{nQ} у залежності від режимів випробувань.

Випробування у еквівалентному режимі навантаження.

У цьому випадку:

$$\frac{D_{(1)np}}{D_{(1)e}} = 1; \quad K_{nQ} = 1.$$

Однорівневі випробування з постійною амплітудою.

Такий режим випробувань характеризується навантаженням об'єкту, який випробується напруженнями, що змінюються за симетричним циклом з постійною амплітудою $\sigma_{anp1} = const$.

У цьому випадку:

$$\alpha_{np1} = 1; \quad \alpha_{npi} = 0; \quad i = 2; 3; 4 \dots$$

$$K_{nQ} = \left(\frac{\sigma_{anp1}}{\sigma_{ae1}} \right)^m \cdot \frac{1}{\alpha_{e1} + \sum_{i=2}^k \left(\frac{\sigma_{aei}}{\sigma_{ae1}} \right)^m \cdot \alpha_{ei}}.$$

(8)

Під час реалізації таких режимів прискорених випробувань можливі два основних випадки:

1. Граничні випробування, коли прискорення досягається за рахунок реалізації максимальної амплітуди циклу σ_{ae1}

$$\sigma_{anp1} = \sigma_{ae1}.$$

Тоді коефіцієнт прискорення K_{nQ} (8) дорівнює:

$$K_{nQ} = \frac{1}{\alpha_{e1} + \sum_{i=2}^k \left(\frac{\sigma_{aei}}{\sigma_{ae1}} \right)^m \cdot \alpha_{ei}}.$$

При цьому слід очікувати, що втомне руйнування буде виникати при $\sigma_{amp1} = \sigma_{ae1} \geq 0,6\sigma_{-1}$. Якщо ж в силу яких-небудь причин випробування були призупинені при наробітку t_{np} , але відмова не виникла, то при відомому значенні коефіцієнта переходу K_{nQ} можливо отримати нижню межу експлуатаційного ресурсу T_{emin} :

$$T_{emin} = K_{nQ} \cdot t_{np}.$$

2. Збільшені за жорсткістю режиму випробування, коли прискорення досягається за рахунок підвищення амплітуди напружень σ_{amp1} :

$$\sigma_{amp1} > \sigma_{ae1}.$$

Крім того, амплітуда σ_{amp1} повинна бути більша за границю витривалості матеріалу σ_{-1} :

$$\sigma_{amp1} = K_{\phi} \cdot \sigma_{-1},$$

де K_{ϕ} – число, більше за одиницю; його називають коефіцієнтом форсування (підвищення жорсткості) за границею витривалості σ_{-1} ; під час випробувань призначають звичайно

$$1 \leq K_{\phi} \leq 1,6.$$

Коефіцієнт переходу K_{nQ} у цьому випадку має вигляд:

$$K_{nQ} = \frac{K_{\phi}^m \cdot \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{ae1}}\right)^m}{\alpha_{e1} + \sum_{i=2}^k \left(\frac{\sigma_{aei}}{\sigma_{ae1}}\right)^m \cdot \alpha_{ei}}. \quad (9)$$

Маючи у наявності особисті реальні дані щодо режимів роботи конкретної деталі, слід скористатися наведеною методикою для розрахунку коефіцієнту прискорення під час випробувань на довговічність.

Індивідуальні завдання

Під час виконання індивідуального завдання за вихідними даними (табл.1) підібрати режими цілодобових прискорених випробувань, які забезпечують (якщо це необхідно), задане значення коефіцієнту $[K_{np}]$ варіюванням даних колонок 4, 9 і 10 табл.1 при $K_{nV}=1$; $K_{np1n}=1$.

Таблиця 1. Вихідні дані до завдання щодо вибору режимів стендових випробувань на втомну довговічність

№ строки	$[K_{np}]$	m	K_{ϕ}	α_{e1}	α_{e2}	$\frac{\sigma_{ae2}}{\sigma_{ae1}}$	$\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{ae1}}$	t_{np2}	K_{np3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	3,05	1,10	0,50	0,50	0,90	1,04	24,0	1,0
2	20	3,10	1,15	0,55	0,45	0,85	1,08	22,0	1,1
3	30	3,15	1,20	0,60	0,40	0,80	1,12	20,0	1,2
4	40	3,20	1,25	0,65	0,35	0,75	1,16	18,0	1,3
5	50	3,25	1,30	0,70	0,30	0,70	1,20	16,0	1,4
6	60	3,30	1,35	0,75	0,25	0,75	1,24	16,0	1,5
7	70	3,35	1,40	0,80	0,20	0,80	1,28	14,0	1,6
8	80	3,40	1,45	0,85	0,15	0,85	1,32	12,0	1,7
9	85	3,45	1,50	0,90	0,10	0,90	1,36	10,0	1,8
0	90	3,50	1,55	0,95	0,05	0,95	1,40	8,0	1,9

Приклад.

Підібрати режими прискорених стендових випробувань та розрахувати величину коефіцієнту прискорення K_{np} під час проведення випробувань на контактну витривалість хрестовини кардану трактора Т-150К.

Порівняти отримане значення K_{np} з заданим $[K_{np}]$; при відмінності його більш, ніж на 5%, підібрати режими випробувань, в першу чергу змінюючи режим силового впливу відповідним підбором коефіцієнту K_{nQ} .

Вихідні данні: $[K_{np}]=20$; $K_{\phi}=1,39$; $m=3,33$; $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{ae1}}=1,2$; $\alpha_{e1}=0,6$; $\alpha_{e2}=0,4$;

$\frac{\sigma_{ae2}}{\sigma_{ae1}}=0,8$; $t_{e2}=8$ год.; $t_{np2}=16$ год.; $K_{np3}=1$; $K_{nV}=1$; $K_{np1n}=1$.

Розв'язок.

Значення коефіцієнту прискорення K_{np} визначається за формулою із загальних відомостей, а коефіцієнт переходу, що входить до неї K_{nQ} - за залежністю (9).

Коефіцієнт переходу K_{nQ} , який отриманий за рахунок реалізації силового режиму випробувань, дорівнює:

$$K_{nQ} = \frac{1,39^{3,33} \cdot 1,2^{3,33}}{0,6 + 0,8^{3,33} \cdot 0,4} = 7,0.$$

Коефіцієнт прискорення K_{np2} дорівнює:

$$K_{np2} = \frac{t_{np2}}{t_{e2}} = \frac{16}{8} = 2.$$

З урахуванням заданих значень коефіцієнтів $K_{np3}=1$; $K_{nV}=1$ і $K_{np1n}=1$ загальний коефіцієнт прискорення дорівнює:

$$K_{np}=7 \cdot 2 \cdot 1=14,0.$$

Отримане значення $K_{np}=14,0$ не відповідає потрібному $[K_{np}]=20$ і відрізняється від нього на величину $\Delta K = \left| \frac{14 - 20}{20} \right| \cdot 100\% = 30\%$.

Зміною силового впливу, прийнявши $K_{\phi}=1,55$, визначимо нові значення коефіцієнтів K'_{nQ} і K'_{np} :

$$K'_{nQ} = \frac{1,55^{3,33} \cdot 1,2^{3,33}}{0,6 + 0,8^{3,33} \cdot 0,4} = 10,0;$$

$$K'_{np} = 10 \cdot 2 \cdot 1 = 20.$$

Останнє значення повністю відповідає заданому $[K_{np}]=20$:

$$K'_{np} = [K_{np}].$$

Таким чином, потрібне значення коефіцієнту прискорення $[K_{np}]=20$ буде забезпечено при наступних значеннях вихідних даних:

$$K_{\phi}=1,55; m=3,33; \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{ae1}}=1,2; \alpha_{e1}=0,6; \alpha_{e2}=0,4; \frac{\sigma_{ae2}}{\sigma_{ae1}}=0,8;$$

$$K_{np2}=2; K_{np3}=1; K_{nV}=1; K_{np1n}=1.$$

Для визначення експлуатаційного ресурсу довговічність, отриману під час прискорених випробувань, яка виражена у годинах, слід помножити на коефіцієнт переходу $K'_{nQ} = 10,0$.

Рекомендована 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.
3. Погорелый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники./ Л.В. Погорелый, В.Я. Анилович – Научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин. – Феникс, 2004. – 208 с.
4. Армашов Ю.В., Випробування сільськогосподарської техніки на надійність: Навч. посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат Дніпропетровськ, 2002.-.219 с.
5. Випробування і сертифікація техніки АПК: Навчальний посібник/ К.І.Шмат, Є.І. Бондарев, О.В.Мігальов та ін. – Херсон: ОПДІ-плюс, 2004. – 268 с.

Навчальне видання

ВИПРОБУВАННЯ І КОНТРОЛЬ НАДІЙНОСТІ

ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ВТОМНУ
ДОВГОВІЧНІСТЬ

Методичні вказівки
до виконання практичної роботи

Укладачі:

ІВАНОВ Володимир Іванович
АЛФЬОРОВ Олексій Ігорович
СЛПЧЕНКО Максим Володимирович
САВЧЕНКО Володимир Борисович

Формат 60x84\16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 0,5

Наклад 30 пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44