

Гринченко О.С.
Алфьоров О.І.
*Харківський національний технічний
університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МЕХАНІЧНОЇ
НАДІЙНОСТІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ
ПРИСКОРЕНИХ ВИПРОБУВАНЬ У
КОМБІНОВАНИХ РЕЖИМАХ**

УДК 62-192(075)

Викладена методика проведення прискорених випробувань у комбінованих режимах та визначення показників механічної надійності. Розглянуто приклад застосування методики у випадку накопичення пошкоджень, обумовлених повзучістю полімерного матеріалу.

Ключові слова: показники механічної надійності, пошкодження, експлуатація, методика.

Вступ. Прискорення випробувань на надійність дозволяє проводити їх у найбільш прийнятні і терміни прогнозувати ресурс техніки на етапі її проектування. Тому питання раціонального проведення прискорених випробувань та визначення за їх результатами показників надійності, які очікуються в експлуатації, залишаються актуальними. Принципові загальні положення методики визначення показників надійності за даними випробувань в комбінованих режимах, які базуються на застосуванні лінійної регресійної моделі накопичення механічних пошкоджень, наведені в [1-3].

Мета статті полягає у тому, щоб послідовно викласти методику визначення показників механічної надійності в упорядкованому вигляді.

Загальні поняття та визначення. Розглянемо деякі терміни та визначення, які використовуються надалі.

Механічною надійністю зветься властивість об'єкта зберігати у часі працездатність, втрата якої обумовлюється механічним пошкодженням та руйнуванням. Механічними є відмови, виникнення яких обумовлене механічною взаємодією елементів машин між собою та з ґрунтом або іншим середовищем, що призводить до механічних відів пошкодження і руйнування.

Сукупність усіх можливих режимів використання об'єкта за призначеністю в реальних умовах експлуатації утворює спектр експлуатаційних режимів. Прискорюючим режимом випробувань будемо вважати режим, при якому під час випробувань з метою прискорення відтворюється екстремальна (найбільша) за інтенсивністю пошкоджуючої дії на об'єкт складова частина спектру експлуатаційних режимів. Доповнюючим режимом випробувань є режим, при якому під час випробувань відтворюється та частина спектру експлуатаційних режимів, яка залишається після виключення з нього прискорюючої складової режиму випробувань. Комбінований режим випробувань - це сукупний режим, що складається з прискорюючого та доповнюючого режимів, які по чергові відтворюються під час випробувань в певній заздалегідь заданій пропорції.

Прискорені випробування для визначення показників механічної надійності проводять в умовах експлуатації, на полігонах або стендах. Викладені далі методи визначення показників надійності переважно застосовують у випадках, коли при виборі виду і режиму випробувань відсутня можливість вірогідного задання коефіцієнту прискорення. Методи випробувань та визначення показників механічної надійності використовують для об'єктів, які в реальній експлуатації працюють в декількох режимах з суттєво різною пошкоджуючою дією, що дозволяє визначити пошкоджуючий режим з найбільшою інтенсивністю.

Порядок проведення випробувань. Реальну сукупність (спектр) можливих експлуатаційних режимів використання об'єкта випробувань поділяють за пошкоджуючою дією на дві складові:

- перша складова включає один або декілька екстремальних режимів, які в експлуатації призводять до найбільшої інтенсивності накопичення механічних пошкоджень, а при випробуваннях утворюють прискорюючий режим;
- друга складова включає решту спектру експлуатаційних режимів використання і утворює доповнюючий режим випробувань.

Попередньо проводять аналіз спектру експлуатаційних режимів використання об'єкта і визначають середню частку наробітку α , яку об'єкт відпрацьовує у прискорюючому режимі в реальних експлуатаційних умовах.

Прискорені випробування об'єктів виконують в комбінованих режимах, їх формують з прискорюючої і доповнюючої складових, які за наробітком відтворюються у певній пропорції, а принцип прискорення випробувань полягає в тому, що в комбінованих режимах частка наробітку в прискорюючому режимі δ повинна бути завжди більша, ніж це ϵ в умовах реальної експлуатації, тобто виконується умова: $\delta > \alpha$.

Якщо загальна кількість зразків, призначених для випробувань, складає $N = 2 \div 10$, то їх поділяють на дві приблизно однакові групи (вибірki), кожен вибірку випробують у визначеному комбінованому режимі, який характеризується певними частками наробітку δ_1 і δ_2 з відтворенням прискорюючого режиму і відповідними частками $(1 - \delta_1)$ і $(1 - \delta_2)$ відтворення доповнюючого режиму. Випробування планують і проводять таким чином, щоб в першому комбінованому режимі частка δ_1 прискорюючого режиму була більша за відповідну частку δ_2 в другому комбінованому режимі за загальної умови: $\delta_1 > \delta_2 > \alpha$.

При загальній кількості зразків об'єктів $N > 10$ їх поділяють на декілька вибірок, кількість яких $k > 2$, і кожен вибірку випробовують у визначеному комбінованому режимі з такими частками наробітку $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k$ відтворення прискорюючого режиму, щоб обов'язково виконувались умови: $\delta_1 > \delta_2 > \dots > \delta_k > \alpha$.

Фізичну подібність механічних пошкоджень та відмов при прискорених випробуваннях на надійність і в реальній експлуатації забезпечують постійним контролем процесів пошкодження за основними параметрами, а також належним обмеженням частки наробітку з прискорюючим режимом в комбінованих режимах та виконанням в процесі випробувань достатньої кількості почергових змін прискорюючого і доповнюючого режимів. Випробування кожного зразка об'єкта проводять в певному комбінованому режимі до виникнення першої механічної відмови, настання граничного стану або до досягнення заданого рівня механічного пошкодження.

Для визначення середнього наробітку до відмови або середнього ресурсу за результатами випробувань в k комбінованих режимах використовують вихідні дані:

- складові наробітку до відмови або ресурсу об'єктів, відпрацьовані в прискорюючому $t_{11}^{(j)}, t_{12}^{(j)}, \dots, t_{1n_j}^{(j)}$ і доповнюючому $t_{21}^{(j)}, t_{22}^{(j)}, \dots, t_{2n_j}^{(j)}$ режимах при комбінованому режимі з часткою наробітку прискорюючого режиму δ_j ($j = 1, 2, \dots, k$);

- середню частку наробітку об'єкту в прискорюючому режимі α , що відповідає реальним умовам експлуатації.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

Для визначення гамма-відсоткового ресурсу або гамма-відсоткового наробітку до відмови після визначення середнього ресурсу або середнього наробітку до відмови використовують вихідні дані:

- задане значення імовірності безвідмовної роботи γ ;
- прогнозовану величину коефіцієнта варіації ресурсу або наробітку до відмови V_t ;
- інформацію про можливий вид розподілу ресурсу або наробітку до відмови об'єкту.

Порядок визначення показників механічної надійності. Визначення середнього ресурсу або середнього наробітку до відмови випробуваних у двох комбінованих режимах об'єктів, коли загальна кількість їхніх зразків складає $N = 2 \div 10$, виконують у наступній послідовності.

Середні складові ресурсу або наробітку до відмови \bar{t}_{11} і \bar{t}_{21} в годинах об'єктів в першому комбінованому режимі випробувань визначають за формулами:

$$\bar{t}_{11} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} t_{1i}^{(1)}}{n_1}; \quad (1)$$

$$\bar{t}_{21} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} t_{2i}^{(1)}}{n_1}, \quad (2)$$

де n_1 - кількість зразків, випробуваних в першому комбінованому режимі.

Середні складові ресурсу або наробітку до відмови \bar{t}_{12} і \bar{t}_{22} в годинах об'єктів зразків, які були випробувані в другому комбінованому режимі визначають за формулами:

$$\bar{t}_{12} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} t_{1i}^{(2)}}{n_2}; \quad (3)$$

$$\bar{t}_{22} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} t_{2i}^{(2)}}{n_2}, \quad (4)$$

де n_2 - кількість зразків, випробуваних у другому комбінованому режимі.

Порівнюють величини \bar{t}_{11} і \bar{t}_{12} та визначають експлуатаційний середній ресурс або середній наробіток до відмови об'єкта T за відповідною формулою:

$$T = \frac{\bar{t}_{11} \cdot \bar{t}_{22} - \bar{t}_{12} \cdot \bar{t}_{21}}{\bar{t}_{11} - \bar{t}_{12} + \alpha(\bar{t}_{12} + \bar{t}_{22} - \bar{t}_{11} - \bar{t}_{21})}, \text{ якщо } \bar{t}_{11} \geq \bar{t}_{12}; \quad (3)$$

$$T = \frac{n_1 \bar{t}_{11} + n_2 \bar{t}_{12}}{\alpha(n_1 + n_2)}, \text{ якщо } \bar{t}_{11} < \bar{t}_{12}. \quad (4)$$

Визначення середнього ресурсу або середнього наробітку до відмови об'єктів, випробуваних в k комбінованих режимах, якщо загальна кількість їхніх зразків $N > 10$, виконують в наступній послідовності.

За результатами випробувань в комбінованих режимах по кожній з k вибірок зразків визначають середні складові ресурсу або наробітку до відмови в прискорюючому \bar{t}_{1j} та доповнюючому \bar{t}_{2j} режимах за формулами:

$$\bar{t}_{1j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} t_{1i}^{(j)}}{n_j}; \quad \bar{t}_{2j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} t_{2i}^{(j)}}{n_j}, \quad j = 1, 2, \dots, k; \quad (5)$$

де n_j - кількість зразків, випробуваних в j -му комбінованому режимі.

Визначають загальні середні складові ресурсу або наробітку до відмови по всіх комбінованих режимах випробувань за формулами:

$$\bar{t}_1 = \sum_{j=1}^k \omega_j \bar{t}_{1j}; \quad \bar{t}_2 = \sum_{j=1}^k \omega_j \bar{t}_{2j}; \quad (6)$$

де $\omega_j = \frac{n_j}{N}$ - частка кількості зразків в j -ій вибірці.

Розраховують величину суми зважених добутків середніх складових ресурсу (наробітку до відмови) в прискорюючому та доповнюючому режимах по всіх комбінованих режимах за формулою:

$$S = \sum_{j=1}^k \omega_j \bar{t}_{1j} \bar{t}_{2j}. \quad (7)$$

Якщо $S \geq \bar{t}_1 \cdot \bar{t}_2$, то це є ознакою того, що доповнючий режим випробувань виявився непошкоджуючим і тоді експлуатаційний середній ресурс або середній наробіток до відмови об'єкту T визначають за формулою:

$$T = \frac{\bar{t}_1}{\alpha}. \quad (8)$$

Якщо $S < \bar{t}_1 \cdot \bar{t}_2$, то визначають допоміжний коефіцієнт ортогональної регресії за формулою:

$$\chi = \frac{\sum_{j=1}^k \omega_j (\bar{t}_{2j})^2 - \sum_{j=1}^k \omega_j (\bar{t}_{1j})^2 + (\bar{t}_1)^2 - (\bar{t}_2)^2}{2(\bar{t}_1 \cdot \bar{t}_2 - S)}. \quad (9)$$

Визначають коефіцієнт β за формулою:

$$\beta = \sqrt{1 + \chi^2} - \chi. \quad (10)$$

Визначають експлуатаційний середній ресурс або середній наробіток до відмови об'єкта T за формулою:

$$T = \frac{\bar{t}_1 + \beta \cdot \bar{t}_2}{\beta + \alpha(1 - \beta)}. \quad (11)$$

Визначення гамма-відсоткового ресурсу та гамма-відсоткового наробітку до відмови виконують з використанням обчислених за формулами (3), (4) або (8), (11) значень T та даних про величину коефіцієнту варіації V_t ресурсу або наробітку до відмови об'єкту.

Якщо вид розподілу ресурсу або наробітку до механічної відмови об'єкта є заздалегідь невизначеним, величину T_γ обчислюють за формулою:

$$T_\gamma = T \cdot \theta(\gamma, V_t), \quad (12)$$

де $\theta(\gamma, V_t)$ - допоміжний коефіцієнт, величина якого наведена в [4].

Приклад визначення показників механічної надійності. Ресурс крильчатки водокільцевого вакуумного насосу агрегату індивідуального доїння визначається величиною залишкової деформації від повзучості полімеру, з якого вона виготовлена. Пошкоджуваність виникає внаслідок дії механічного навантаження та впливу температури робочої рідини на лопатки при усталеному рівні тиску в насосі. Крім усталеного експлуатаційного режиму роботи, крильчатка насоса деякий період (в середньому приблизно 2%) працює при підвищених майже втричі екстремальних навантаженнях під час налаштування насоса, запуску, тощо. Отже в експлуатації має місце двоступенева схема спектру режимів роботи крильчатки, керуючись якою були сплановані та проведені прискорені випробування для визначення середнього і гамма-відсоткового ресурсів крильчатки. Кожний комбінований режим складався з прискорюючого (екстремального) та доповнюючого (усталеного експлуатаційного) режимів. Випробування проводились до досягнення граничного стану, коли величина залишкової деформації лопатки в радіальному напрямку перевищувала допустимий мінімальний зазор між крильчаткою та корпусом насоса.

Проведено чотири серії випробувань лопаток крильчаток в комбінованих режимах з різною часткою δ_j часу випробувань в екстремальному (прискорюючому) режимі. Загальна кількість зразків лопаток $N = 19$. Отримані результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Вихідні дані для визначення показників надійності крильчатки

Кількість лопаток у вибірці n_j	Вагові коефіцієнти ω_j	Частка роботи в прискорюючому режимі δ_j	Середня складова ресурсу, год.	
			в прискорюючому режимі \bar{t}_{1j}	в доповнюючому режимі \bar{t}_{2j}
3	0,158	1	154	0
4	0,210	0,47	153	173
6	0,316	0,25	141	419
6	0,316	0,22	147	520

Визначення значень загальних середніх складових ресурсу, які відпрацьовані в прискорюючому \bar{t}_1 та доповнюючому \bar{t}_2 режимах, виконують згідно з (6):

$$\bar{t}_1 = 0,158 \cdot 154 + 0,210 \cdot 153 + 0,316 \cdot 141 + 0,316 \cdot 147 = 147 \text{ год.},$$

$$\bar{t}_2 = 0,210 \cdot 173 + 0,316 \cdot 419 + 0,316 \cdot 520 = 333 \text{ год.}$$

Згідно з (7) обчислюють суму $S = 48382$ і добуток $\bar{t}_1 \cdot \bar{t}_2 = 48951$.

Перевіряємо, що виконується умова $\bar{t}_1 \cdot \bar{t}_2 > S$, яка означає, що доповнюючий режим випробувань був пошкоджуючим для крильчатки.

Після розрахунку сум квадратів $\sum_{j=1}^4 \omega_j (\bar{t}_{1j})^2 = 21773$ і $\sum_{j=1}^4 \omega_j (\bar{t}_{2j})^2 = 147208$,

згідно з (9) і (10) визначають допоміжні коефіцієнти

$$\chi = \frac{147208 - 21773 + 147^2 - 333^2}{2(48951 - 48382)} = 31,77;$$

$$\beta = \sqrt{1 + 31,77^2} - 31,77 = 0,015734$$

Середня частка роботи насосу в прискорюючому режимі в реальних умовах використання складає близько 2% (тобто $\alpha = 0,02$), тому за допомогою (11) обчислюють прогнозоване значення експлуатаційного середнього ресурсу крильчатки

$$T = \frac{147 + 0,015734 \cdot 333}{0,015734 + 0,02(1 - 0,015734)} = 4298 \text{ год.}$$

За експлуатаційними відомостями про процес пошкодження прийнято коефіцієнт варіації $V_f = 0,2$. Тоді, згідно з (12) і даними [4], наведеними у додатку А, розраховують прогнозовані величини гамма-відсоткового ресурсу крильчатки для $\gamma = 80\%$ і 99% , відповідно:

$$T_{80} = 4298 \cdot 0,83 = 3567 \text{ год.}; T_{99} = 4298 \cdot 0,489 = 2102 \text{ год.}$$

Висновок. Викладена методика дозволяє раціонально спланувати і провести прискорені випробування у декількох комбінованих режимах. За результатами таких випробувань визначають ресурсні показники модифікованого об'єкта, що розробляється або модернізується. Теоретичні положення викладеної методики взяті за основу при розробці галузевого стандарту [4], призначеного для визначення механічної надійності сільськогосподарської техніки шляхом прискорених випробувань.

Література

1. Гринченко А.С. Методы проведения и анализ результатов ускоренных ресурсных испытаний при комбинированных режимах нагружения/ А.С. Гринченко// Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХГТУСГ ім. П.Василенка. - Харків, 2005. - Вип. 41. - С. 404-414.
2. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль/ А.С. Гринченко. - Харьков: Віровець А.П. "Апорстроф", 2012. - 259 с.
3. Гринченко О.С. Наукові методи моделювання та прогнозування механічної надійності сільськогосподарської техніки. Автореф. дис... докт.техн.наук. - Харків, 2014. - 40 с.
4. СОУ 71.2-37-04604309-940:2014. Випробування сільськогосподарської техніки. Метод визначення показників механічної надійності. Стандарт Мінагрополітики України. Київ, 2014. - 15 с.

Grinchenko A.S., Alferov A.I. Determination of mechanical reliability indexes according to results of speed-up tests in the combined modes

In the article suggested the method of speed-up tests in the combined modes and determination of mechanical reliability indexes. Article has the example of application of method in the case of accumulation of the damages conditioned by the creep of polymeric material.

Keywords: mechanical reliability performance, injury, operation, technique.

References

- 1 AS Methods for analysis and the results of accelerated life tests under combined loading conditions / AS Grinchenko // *Mehanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva: News HGTUSG IM. P.Vasilenka.* - Kharkiv, 2005. - Vip. 41. - P. 404-414.
2. . Grinchenko AS Mechanical reliability of mobile machines: Evaluation, modeling, control / AS Grinchenko. - Kharkov: Virovets AP "Aporstrof", 2012. - 259 p.
3. Grinchenko O. Scientific modeling and predicting the mechanical reliability of agricultural machinery. Author. di ... dokt.tehn.nauk. - Kharkiv, 2014. - 40 p.
4. SOU 71.2-37-04604309-940: 2014. Testing of agricultural machinery. The method of determination of the mechanical reliability. Standard Agrarian Policy of Ukraine. Kyiv, 2014. - 15 p.