



Міністерство освіти і науки України

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет мехатроніки та інжинірингу

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

**СКОРОЧЕНІ КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ
З ПРОГНОЗУВАННЯМ ЗА ПАРАМЕТРОМ**

Методичні вказівки

до виконання практичної роботи

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

133 Галузеве машинобудування

Харків

2023

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет мехатроніки та інжинірингу

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

СКОРОЧЕНІ КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ЗА ПАРАМЕТРОМ

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 07. 02. 2023 р.

Харків
2023

УДК 631.3

Схвалено на засіданні кафедри надійності та міцності машин і споруд
імені В.Я. Аніловича
протокол № 6 від 30.01.2023 р.

Скорочені контрольні випробування з прогнозуванням за параметром: 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, М. В. Сліпченко, В.Б. Савченко, О.А. Свіргун – Харків : [б. в.], 2023.–11с.

Методичні вказівки призначені для набуття практичних навичок використання методики контролю показників надійності за результатами скорочених випробувань з прогнозуванням параметрів технічного стану.

Розглядається методика контролю показників надійності за результатами скорочених випробувань з прогнозуванням параметрів технічного стану.

Рецензенти:

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

Р. В. Антощенко, д-р техн. наук, завідувач кафедри мехатроніки, безпеки життєдіяльності та управління якістю Державного біотехнологічного університету.

Відповідальний за випуск: М. В. Сліпченко, к.т.н., доцент, зав.каф.

© Іванов В.І., Сліпченко М.В.,
Савченко В.Б., Свіргун О.А.
© ДБТУ, 2023

СКОРОЧЕНІ КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ЗА ПАРАМЕТРОМ

Мета роботи: вивчити методику контролю показників надійності за результатами скорочених випробувань з прогнозуванням параметрів технічного стану.

Скорочення тривалості експлуатаційних випробувань може бути здійснено за рахунок використання методів прогнозування параметрів технічного стану, пов'язаних зі зносом спряжень. Найпростіша математична модель для прогнозування величини зносу деталі або спряження у сталої стадії зношування має вигляд:

$$U = U_0 + a(t - t_0)^{\nu}; \quad \text{при } t > t_0 \text{ і } U > U_0, \quad (1)$$

де U_0 - знос на момент закінчення припрацювання;

t_0 - тривалість періоду припрацювання у одиницях наробітку;

t - наробіток деталі;

a - випадковий параметр, який залежить від інтенсивності зношування конкретної деталі під час випробувань;

ν - показник ступеню, який залежить від типу деталі або спряження.

Аналіз чисельних статистичних даних про зношування показав, що у багатьох випадках для деталей або спряжень одного типу можливо приймати $\nu \cong \text{const}$, $t_0 \cong \text{const}$ і $U_0 \cong \text{const}$, а розсіювання величини зносу у різних зразків при однаковому наробітку визначається, в основному, мінливістю параметра a .

Якщо при наробітку t_1 проведені вимірювання зносу у n_1 деталей і отримана вибірка величин зносу $U_{11}, U_{12}, \dots, U_{1n_1}$, а при наробітку t_2 виміряний знос n_2 деталей і також отримана вибірка зносів $U_{21}, U_{22}, \dots, U_{2n_2}$, то показник ступеню ν з використанням методу найменших квадратів може бути приблизно визначений за виразом:

$$v = \frac{n \left(\tau_1 \sum_{i=1}^{n_1} y_{1i} + \tau_2 \sum_{i=1}^{n_2} y_{2i} \right) - (\tau_1 n_1 + \tau_2 n_2) \cdot \left(\sum_{i=1}^{n_1} y_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} y_{2i} \right)}{n \left(\tau_1^2 n_1 + \tau_2^2 n_2 \right) - (\tau_1 n_1 + \tau_2 n_2)^2}, \quad (2)$$

де $n = n_1 + n_2$ – загальна кількість об’єктів, що випробовуються;

$$\tau_1 = \ln(t_1 - t_0); \quad \tau_2 = \ln(t_2 - t_0);$$

$$y_{1i} = \ln(U_{1i} - U_0); \quad y_{2i} = \ln(U_{2i} - U_0).$$

Припрацювальні характеристики t_0 і U_0 мають бути при цьому відомі з попередньої (апріорної) інформації. Якщо вимірювання зносів U_{1i} і U_{2i} проводились не завжди при наробітках t_1 і t_2 , а з деяким (незначним) розсіюванням, то у якості t_1 і t_2 приймають середнє значення відповідних наробіток.

Наявність показника ступеню v дозволяє виконати індивідуальний прогноз ресурсу деталей на основі моделі (1). Для деталей, знос яких виміряний при наробітку t_1 , прогнозований ресурс визначається за формулою:

$$T_{1i} = t_0 + (t_1 - t_0) \cdot \left(\frac{U_{zp} - U_0}{U_{1i} - U_0} \right)^{1/v}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad (3)$$

де U_{zp} – граничний знос деталі.

Аналогічно прогнозується ресурс деталей, виміряних при наробітку t_2 :

$$T_{2i} = t_0 + (t_2 - t_0) \cdot \left(\frac{U_{zp} - U_0}{U_{2i} - U_0} \right)^{1/v}, \quad i=1,2,\dots,n_2. \quad (4)$$

Послідовний контроль гамма-відсоткового ресурсу за результатами скорочених експлуатаційних випробувань з використанням прогнозування ресурсу здійснюється наступним чином.

При значеннях t_1 і t_2 проводиться перша серія вимірювань зносу у n деталей і за формулою (2) визначається показник ступеню v прогнозуючої моделі. За допомогою виразів (3) і (4) проводиться прогноз значень ресурсів T_{1i} і T_{2i} та розглядається загальна вибірка виміряних деталей. Потім визначається число k не перевищень величиною ресурсу, що прогнозується заданого нормативного гамма-відсоткового ресурсу T_γ . Отримане число k порівнюють з рівнями відповідності k_π

і невідповідності k_6 нормативу, які визначаються за формулами:

$$k_n = A \cdot \ln \frac{\beta}{1-\alpha} + B \cdot n; \quad k_6 = A \cdot \ln \frac{1-\beta}{\alpha} + B \cdot n, \quad (5)$$

де α - ризик (імовірність) помилкового рішення про невідповідність показника нормативу, β - ризик помилкового рішення про відповідність нормативу, а параметри A і B визначають за формулами

$$A = \frac{1}{\ln \frac{1-0,01\gamma}{q_0} + \ln \frac{1-q_0}{0,01\gamma}}; \quad B = \frac{\ln \frac{1-q_0}{0,01\gamma}}{\ln \frac{1-0,01\gamma}{q_0} + \ln \frac{1-q_0}{0,01\gamma}},$$

де γ - імовірність (у %), з якою за нормативний наробіток не має виникнути відмова об'єкту (при контролі гамма-відсоткового наробітку до відмови) або не має настати його граничний стан (при контролі гамма-відсоткового ресурсу);

q_0 - допустимий нижній рівень імовірності відмови за нормативним наробітком, що відповідає ризику α і, що призначається з урахуванням умови $q_0 < 1-0,01\gamma$.

При цьому, якщо розрахунок за формулою (5) дає $k_n < 1$, то слід приймати $k_n = 0$. Якщо $k < k_n$, то гамма-відсотковий ресурс, що контролюється відповідає нормативу. Якщо $k > k_6$, то за результатами контролю робиться висновок про невідповідність нормативу.

У випадку, коли $k_n < k < k_6$, необхідно продовжити контроль, тобто провести наступну серію вимірювань і, збільшивши обсяг даних n , уточнити показник ступеню ν . Потім проводиться прогнозування значень ресурсів T_{1i} і T_{2i} , оцінка відповідного числа k і порівняння з рівнями k_n і k_6 .

По закінченню описаної вище процедури контролю визначають середній ресурс деталі, що прогнозується

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (6)$$

і середню тривалість скорочених випробувань

$$T_c = \frac{n_1}{n} \cdot t_1 + \frac{n_2}{n} \cdot t_2. \quad (7)$$

Коефіцієнт скорочення випробувань, оцінюють за формулою:

$$K_c = \frac{T_c}{T}, \quad (8)$$

Зазвичай, якщо зноси у вибірці складають в середньому 40...50% від граничного, то при використанні прогнозування ресурсу з вимірюванням зносу вдається скоротити тривалість випробувань у більшому ступені, ніж у випадку цензурування за наробітком.

Індивідуальні завдання

Під час виконання самостійної роботи слід за результатами скорочених експлуатаційних випробувань з вимірюванням зносу проконтролювати відповідність гамма-відсоткового ресурсу нормативному значенню.

Вихідні данні обирати з таблиць 1 і 2. В таблиці 2 значення зносу над рисою відповідають наробітку t_1 , а під рисою - наробітку t_2 . Зноси у першій серії випробувань обрати зі строки, а зноси у другій серії обрати зі стовпця табл.2.

Таблиця 1. Вихідні данні до завдання щодо контролю показників під час прогнозування за параметром відмови

№ строки	$\gamma, \%$	T_γ , ГОД.	U_o , ММ.	t_o , ГОД.	t_1 , ГОД.	t_2 , ГОД.	q_o	U_{np} , ММ.
1	80	5000	0,05	200	1000	3500	0,05	0,6
2	90	5500	0,08	250	1500	4000	0,02	0,5
3	80	6000	0,1	300	2000	4500	0,10	0,4
4	90	5000	0,05	200	1000	3500	0,02	0,6
5	80	5500	0,08	250	1500	4000	0,05	0,5
6	90	6000	0,1	300	2000	4500	0,03	0,4
7	80	5000	0,05	200	1000	3500	0,10	0,6
8	90	5500	0,08	250	1500	4000	0,03	0,5
9	80	6000	0,1	300	2000	4500	0,05	0,4
0	90	5000	0,08	200	1000	3500	0,02	0,6

Таблиця 2.

№ стовп. № стр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	<u>0,20</u> 0,27	<u>0,11</u> 0,30	<u>0,14</u> 0,29	<u>0,17</u> 0,18	<u>0,15</u> 0,33	<u>0,16</u> 0,28	<u>0,19</u> 0,31	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,15</u> 0,30	<u>0,12</u> 0,39
2	<u>0,18</u> 0,25	<u>0,16</u> 0,21	<u>0,22</u> 0,24	<u>0,14</u> 0,38	<u>0,20</u> 0,24	<u>0,15</u> 0,31	<u>0,11</u> 0,18	<u>0,14</u> 0,33	<u>0,13</u> 0,29	<u>0,21</u> 0,25
3	<u>0,11</u> 0,20	<u>0,14</u> 0,18	<u>0,24</u> 0,33	<u>0,12</u> 0,34	<u>0,16</u> 0,31	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,17</u> 0,29	<u>0,21</u> 0,28	<u>0,29</u> 0,22	<u>0,11</u> 0,36
4	<u>0,24</u> 0,39	<u>0,25</u> 0,19	<u>0,13</u> 0,25	<u>0,11</u> 0,30	<u>0,14</u> 0,28	<u>0,12</u> 0,38	<u>0,21</u> 0,22	<u>0,24</u> 0,32	<u>0,22</u> 0,31	<u>0,13</u> 0,27
5	<u>0,12</u> 0,19	<u>0,11</u> 0,34	<u>0,21</u> 0,26	<u>0,13</u> 0,39	<u>0,25</u> 0,18	<u>0,18</u> 0,27	<u>0,19</u> 0,35	<u>0,15</u> 0,18	<u>0,14</u> 0,20	<u>0,22</u> 0,19
6	<u>0,13</u> 0,31	<u>0,19</u> 0,32	<u>0,17</u> 0,28	<u>0,21</u> 0,25	<u>0,13</u> 0,26	<u>0,22</u> 0,25	<u>0,20</u> 0,34	<u>0,18</u> 0,23	<u>0,16</u> 0,39	<u>0,17</u> 0,30
7	<u>0,11</u> 0,33	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,15</u> 0,28	<u>0,23</u> 0,30	<u>0,16</u> 0,29	<u>0,20</u> 0,29	<u>0,24</u> 0,27	<u>0,11</u> 0,38	<u>0,15</u> 0,35	<u>0,16</u> 0,18
8	<u>0,19</u> 0,37	<u>0,22</u> 0,18	<u>0,12</u> 0,36	<u>0,15</u> 0,39	<u>0,22</u> 0,33	<u>0,23</u> 0,25	<u>0,18</u> 0,28	<u>0,16</u> 0,20	<u>0,13</u> 0,24	<u>0,14</u> 0,26
9	<u>0,15</u> 0,32	<u>0,24</u> 0,27	<u>0,19</u> 0,35	<u>0,22</u> 0,34	<u>0,11</u> 0,20	<u>0,17</u> 0,22	<u>0,13</u> 0,31	<u>0,12</u> 0,33	<u>0,11</u> 0,28	<u>0,18</u> 0,36
0	<u>0,18</u> 0,29	<u>0,21</u> 0,27	<u>0,16</u> 0,25	<u>0,11</u> 0,30	<u>0,14</u> 0,31	<u>0,19</u> 0,27	<u>0,12</u> 0,37	<u>0,13</u> 0,29	<u>0,17</u> 0,37	<u>0,15</u> 0,20

Приклад

За результатами експлуатаційних випробувань з вимірюванням зносу (за товщиною зуба) шліців півосей ведучих мостів трактора необхідно проконтролювати відповідність 80%-го ресурсу півосей нормативному значенню $T_{80}=5500$ год.

Задані величини періоду припрацювання $t_0=200$ год, відповідного зносу $U_0=0,1$ мм, і граничний знос $U_{zp}=0,4$ мм. Величини ризиків помилкових рішень $\alpha=\beta=0,1$ і допустимий нижній рівень імовірності відмови $q_0=0,05$.

Вимірювання зносу проводились при наробітку $t=1500$ год.

Розв'язок.

Результати першої серії вимірювань зносу U_i ($n=10$) заносять до таблиці 3. Там же наводять розраховані за формулою (3) значення ресурсу T_i , що

прогнозується і результати порівняння його з нормативним гамма-відсотковим ресурсом T_γ ("+" якщо $T_i \geq T_\gamma$ і "-" якщо $T_i < T_\gamma$).

Наприклад, для першої строки таблиці, при зносі $U_1=0,12$ мм, отримуємо:

$$T_1 = 200 + (1500 - 200) \cdot \frac{0,4 - 0,1}{0,12 - 0,1} = 15441 \text{ год}, \quad 15441 > 5500 \text{ год}, \text{ отже "+"}.$$

Підрахувавши кількість деталей, у яких ресурс, що прогнозується нижче нормативного ($T_i < T_\gamma$), визначаємо кількість деталей з недостатнім ресурсом $k=2$, які виявлені після першої серії випробувань.

Таблиця 3. Результати розрахунків до прикладу

серія	деталь	U_i , мм.	T_{li} , год.	п/б	серія	деталь	U_i , мм.	T_{li} , год.	п/б
1	1	0,12	19700	+	2	11	0,15	8000	+
	2	0,11	39200	+		12	0,18	5075	-
	3	0,14	9950	+		13	0,13	13200	+
	4	0,18	5075	-		14	0,14	9950	+
	5	0,13	13200	+		15	0,12	19700	+
	6	0,16	6700	+		16	0,17	5771	+
	7	0,19	4533	-		17	0,15	800	+
	8	0,13	13200	+		18	0,19	4533	-
	9	0,14	9950	+		19	0,11	39200	+
	10	0,17	5771	+		20	0,13	13200	+
$n=10$				$k=2$	$n=20$				$k=4$

Розраховуємо параметри A і B при $\gamma=80\%$ і $q_0=0,05$

$$A = \frac{1}{\ln \frac{1-0,8}{0,05} + \ln \frac{1-0,05}{0,8}} = 0,642; \quad B = \frac{\ln \frac{1-0,05}{0,8}}{\ln \frac{1-0,8}{0,05} + \ln \frac{1-0,05}{0,8}} = 0,11$$

Складаємо рівняння і обчислюємо значення рівня відповідності k_{π} і невідповідності k_{δ} нормативу:

$$k_{\pi} = 0,642 \ln \frac{0,1}{1-0,1} + 0,11n = -1,41 + 0,11n; \quad k_{\pi} = -1,41 + 0,11 \cdot 10 = -0,31;$$

$$k_{\delta} = 0,642 \ln \frac{1-0,1}{0,1} + 0,11n = 1,41 + 0,11n; \quad k_{\delta} = 1,41 + 0,11 \cdot 10 = 2,51;$$

Таким чином, за результатами першої серії випробувань при $n=10$ виявлено $k=2$ об'єкти, ресурс яких нижче нормативного. Оскільки $0 < k < 2,51$, необхідно продовжити контроль, провівши наступну серію з 10 випробувань.

Дані про результати вимірювань і розрахунку ресурсу, що очікується у другій серії випробувань додані до таблиці 3. З цих даних виходить, що при $n=20$ число неперевищень нормативного рівня $k=4$.

Обчислюємо нові значення рівнів відповідності і невідповідності:

$$k_{\text{п}} = -1,41 + 0,11 \cdot 20 = 0,79; \quad k_{\text{г}} = 1,41 + 0,11 \cdot 20 = 3,41;$$

Тому що $k > k_{\text{г}}$, то слід зробити висновок про невідповідність 80%-го ресурсу півосей нормативному значенню $T_{80}=5500$ год.

Використовуючи дані табл.3, розраховуємо за формулою (6) середній ресурс, що прогнозується

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i = \frac{253910}{20} = 12695 \text{ год.}$$

З отриманих результатів виходить, що при середньому ресурсі більш ніж 12 тис. годин, в наслідок значного розсіювання ресурсу, що прогнозується, 80%-ий ресурс півосей ведучого мосту не відповідає нормативній величині 5,5 тис. годин.

Оскільки випробування в обох серіях проводились впродовж 1500 годин, середня тривалість випробувань також складе $T_c=1500$ год., а коефіцієнт скорочення випробувань, розрахований за формулою (8) складе

$$K_c = \frac{1500}{12695} = 0,118,$$

Тобто, порівняно з повними, тривалість випробувань скорочена більше ніж у 5 разів.

Рекомендована література

1. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах. 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., Анилович В.Я. Испытания сельскохозяйственной техники. Научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин. Феникс, 2004. 208 с.
4. Армашов Ю.В., Охмат П.К. Випробування сільськогосподарської техніки на надійність: Навч. Посібник. Дніпропетровськ, 2002. 219 с.
5. Шмат К.І., Бондарев Є.І., Мігальов О.В. та ін. Випробування і сертифікація техніки АПК: Навчальний посібник. Херсон: ОПДІ-плюс, 2004. 268 с.

Навчальне видання

СКОРОЧЕНІ КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ЗА ПАРАМЕТРОМ

Методичні вказівки
до виконання практичної роботи

Укладачі:

ІВАНОВ Володимир Іванович
СЛІПЧЕНКО Максим Володимирович
САВЧЕНКО Володимир Борисович
СВІРГУН Ольга Анатоліївна

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