

УДК 621.771

О.М. Гречаний, Т.О. Васильченко, І.А. Шевченко, Ю.Г. Кобрін  
**ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ПОЛОМОК  
ЕЛЕМЕНТІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ З МЕТОЮ ЇХ  
ЗАПОБІГАННЯ**

*Анотація. Розглядаються фактори впливу бронзових вкладишів на надійність роботи й довговічність шпіндельних пристроїв. На підставі статистичних даних отримано закон розподілу наробітку до відмови та розроблена методика встановлення закону розподілу випадкових величин зношування бронзових вкладишів стану 1680. Це дозволить прогнозувати технічний стан вкладишів, та всіх деталей стану 1680 в цілому, протягом усього часу експлуатації, для виконання своєчасних ремонтних робіт.*

*Ключові слова: шпіндель, вкладиш, знос, закон розподілу випадкових величин.*

### **Постановка проблеми**

Практика експлуатації універсальних шпінделів у приводах прокатних станів свідчить про недовговічність вкладишів шарнірів ковзання. Основною причиною частих періодичних поломок (або аварійних відмов) шпіндельних з'єднань є підвищений зазор у шарнірі через зношування бронзових вкладишів.[1]

Характер і швидкість зміни технічного стану обумовлені постійним впливом технологічних навантажень і зміною внутрішніх властивостей елементів устаткування, які носять випадковий (стохастичний) характер. Перераховані вище фактори безпосередньо впливає на зношування, фізичне старіння й міцність елементів устаткування, що приводить до порушення його працездатного стану, і як наслідок, до його відмови, а виходить, зупинці процесу виробництва, погіршуючи його технологічні й техніко-економічні показники. У зв'язку із цим, для підтримки устаткування в стані, відповідному до вимог нормативно-технічної й конструкторської документації, в умовах дії руйнуючих факторів, а також виключення й попередження його аварійних зупинок на металургійних підприємствах, крім

---

© Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Шевченко І.А., Кобрін Ю.Г., 2018

домінуючої функції виробництва, здійснюється спеціальна функція забезпечення працездатності, що включає в себе всі профілактичні й ремонтно-відбудовчі операції. Реалізація цієї функції здійснюється спеціальною системою, названою ремонтною службою підприємства, яка має свої цехові підрозділи.

До основних завдань, розв'язуваних ремонтною службою, відносяться:

- планування;
- підготовка;
- проведення ремонтних впливів.

Серед перерахованих завдань найбільш складним, внаслідок невизначеності, і відповідальним, з погляду впливу на ефективність виробництва, є завдання планування виконання завчасних ремонтних робіт. [2]

### Мета

Варіантом рішення проблеми планування виконання своєчасних ремонтних робіт – є встановлення закону розподілу випадкових величин, для поломок обладнання. Задача дослідження заключається у встановленні закону наробітку до відмови, за допомогою якого можливо було б розрахувати час початку ремонтних дій по заміні вкладишів. З цією метою провели математичну обробку даних отриманих в ході експлуатації бронзових вкладишів за період с 2008 по 2010 год на стані 1680 ЦХП-1 ПАТ«Запоріжсталь».

### Методика досліджень

На основі статистичних даних отриманих в ході експлуатації бронзових вкладишів за період з 2008 по 2010 рр складаємо інтервальний розподіл вибірки поломок вкладишів з кроком  $h=3$  доби (таблиця 1).

Таблиця 1

Інтервальний розподіл виборки поломки вкладишів  
з кроком  $h=3$  доби

Інтервал ( $x_i; x_{i+1}$ ), діб	18ч21	21ч24	24ч27	27ч30	30ч33	33ч36	36ч39	39ч42
Кількість замін вкладишів в інтервалі, $n_i$	1	1	7	9	8	5	3	2

За отриманими значеннями інтервального розподілу вибірки (табл. 1) будуємо гістограму частот (рис.1), для чого на осі абсцис

відкладаємо часткові інтервали, на кожному з них будуємо прямокутники висотою:

$$\frac{n_i}{h}, \quad (1)$$

де  $n_i$  – частот варіантів  $i$ -го часткового інтервалу;

$h$  – крок (довжина інтервалу).

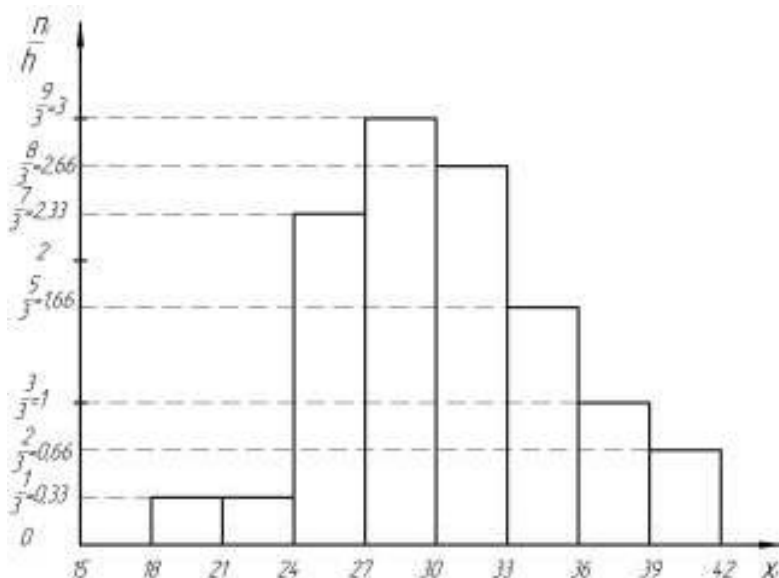


Рисунок 1 – Гістограма відносних частот

Виходячи з вигляду гістограми (рис. 1) можна припустити, що дана випадкова величина підпорядковується нормальному закону розподілу, який характерний для поступових відмов, викликаних зношуванням і старінням [3], але для остаточного підтвердження перевіримо висунуту нульову гіпотезу за допомогою критерію Пірсона при заданому рівні значущості  $\alpha=0,05$ .

Для обчислення теоретичних частот перетворимо знайдений інтервальний розподіл вибірки до дискретного вигляду за формулою:

$$x_i^* = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}, \quad (2)$$

Отримані значення зводимо в таблицю 2

Таблиця 2

Інтервальний розподіл вибірки з кроком  $h=3$  в дискретному вигляді

$x_i^*$ , діб	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	37,5	40,5
Кількість замін вкладишів в інтервалі, $n_i$	1	1	7	9	8	5	3	2

Згідно даних приведенних в таблиці 1 знаходимо вибірккову середню для  $n=36$ :

$$\bar{x}_B = \frac{\sum_{i=1}^k x_i^* \cdot n}{n}, \quad (3)$$

$$\bar{x}_B = \frac{(19,5 \cdot 1 + 22,5 \cdot 1 + 25,5 \cdot 7 + 28,5 \cdot 9 + 31,5 \cdot 8 + 34,5 \cdot 5 + 37,5 \cdot 3 + 40,5 \cdot 2)}{36} = 30,42$$

Вибіркову дисперсію знаходимо за формулою:

$$D_B = \overline{x_B^2} - (\bar{x}_B)^2, \quad (4)$$

$$D_B = \frac{(19,5^2 \cdot 1 + 22,5^2 \cdot 1 + 25,5 \cdot 7^2 + 28,5^2 \cdot 9)}{36} + \frac{(31,5^2 \cdot 8 + 34,5^2 \cdot 5 + 37,5^2 \cdot 3 + 40,5^2 \cdot 2)}{36} - 30,42^2 = 22,87$$

Звідки вибірккове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{D_B}, \quad (5)$$

$$\sigma_B = \sqrt{22,87} \approx 4,78$$

Знайдемо теоретичні частоти:

$$n'_i = n \cdot P_i, \quad (6)$$

де  $P_i = P(x_i < X < x_{i+1})$  – ймовірність того, що випадкова величина потрапить в  $i$ -й частковий інтервал  $(x_i; x_{i+1})$ .

Оскільки передбачуваний закон розподілу – нормальний, то

$$P_i = \Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i),$$

де  $\Phi(z)$  – функція Лапласа, для спрощення розрахунків вибираємо з таблиці за розрахованими  $z_i, z_{i+1}$ , [5];

$z_i, z_{i+1}$  – обчислюються за формулами:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}_B}{\sigma_B}, \quad (7)$$

$$z_{i+1} = \frac{x_{i+1} - \bar{x}_B}{\sigma_B}, \quad (8)$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків теоретичних частот

i	$x_i$	$x_{i+1}$	$z_i$	$z_{i+1}$	$\Phi(z_i)$	$\Phi(z_{i+1})$	$P_i$	$n'_i$
1	18	21	-2,60	-1,97	-0,4953	-0,4756	0,0197	0,71
2	21	24	-1,97	-1,34	-0,4756	-0,4099	0,0657	2,37
3	24	27	-1,34	-0,72	-0,4099	-0,2642	0,1457	5,25
4	27	30	-0,72	-0,09	-0,2642	-0,0359	0,2283	8,22
5	30	33	-0,09	0,54	-0,0359	0,2054	0,2413	8,69
6	33	36	0,54	1,17	0,2054	0,3790	0,1736	6,25
7	36	39	1,17	1,80	0,3790	0,4641	0,0851	3,07
8	39	42	1,80	2,42	0,4641	0,4922	0,0281	1,02

Для порівняння емпіричних і теоретичних частот обчислюємо спостережуване значення критерію Пірсона:

$$\chi^2_{\text{спост}} = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}, \quad (9)$$

Розраховані значення зводимо в таблицю 4

Таблиця 4

Результати розрахунків значень критерію Пірсона

i	$n_i$	$n'_i$	$ n_i - n'_i $	$(n_i - n'_i)^2$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	1	0,71	0,29	0,0841	0,118
2	1	2,37	1,37	1,8769	0,79
3	7	5,25	1,75	3,0625	0,583
4	9	8,22	0,78	0,6084	0,074
5	8	8,69	0,69	0,4761	0,055
6	5	6,25	1,25	1,5625	0,25
7	3	3,07	0,07	0,0049	0,0016
8	2	1,02	0,98	0,9604	0,942
$\Sigma$					$\chi^2_{\text{спост}}=2,81$

За таблицею критичних точок розподілу  $\chi^2$  [5], рівню значущості  $\alpha=0,05$  й числу ступенів свободи  $k=m-3=5-3=2$  знаходимо критичну точку правосторонньої критичної області  $\chi^2_{кр} = \chi^2(0,05; 2)=5,991$ .

Оскільки  $\chi^2_{\text{спост}}=2,81 < \chi^2_{кр}=5,991$ , то на рівні значущості  $\alpha=0,05$  нульова гіпотеза про нормальний розподіл генеральної сукупності приймається. Інакше кажучи, емпіричні та теоретичні частоти розрізняються не значуще.

Отже, виконані розрахунки остаточно підтвердили, що вихід з ладу вкладишів шпіндельних пристроїв підпорядковується нормальному закону розподілу випадкових величин, а значить можна розрахувати з надійністю  $\gamma=0,95$  довірчі інтервали для математичного сподівання поломки вкладишів шпінделів, котрі і будуть граничним часом виконання ремонтних робіт.

За значенням розрахованої по формулі (4) вибіркової дисперсії знаходимо виправлену вибірку дисперсію дорівнює:

$$s^2 = \frac{n}{n-1} D_B, \quad (10)$$

$$s^2 = \frac{36}{36-1} \cdot 22,87 = 23,52$$

Звідки виправлене вибіркоче середнє квадратичне відхилення  $s$ :

$$s = \sqrt{23,52} \approx 4,85 \quad (11)$$

Т.я. відома вибіркоче середня  $\bar{x}_B = 30,42$  (3) та виправлене вибіркоче середнє квадратичне відхилення  $s = 4,85$ , то довірчі інтервали для математичного сподівання ознаки  $X$  генеральної сукупності відшукуються за допомогою розподілу Стьюдента і мають вигляд:

$$\bar{x}_B - t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}} < a < \bar{x}_B + t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (12)$$

де  $t_\gamma$  – коефіцієнт Стьюдента, таблична величина для  $n=36$  та  $\gamma=0,95$   
 $t_\gamma = 2,0281$

Отже отримаємо:

$$30,42 - \frac{2,0281 \cdot 4,85}{\sqrt{36}} < a < 30,42 + \frac{2,0281 \cdot 4,85}{\sqrt{36}}$$

$$28,78 < a < 32,01$$

Отже граничні межі виконання ремонтних робіт вкладишів шпіндельних пристрої стану 1680 знаходяться в проміжку 28,78 – 32,01 доби, за початок виконання ремонтних впливів, рекомендовано прийняти нижню межу, що складає – 28,78 доби.

### Висновки

Встановлено закон розподілу випадкових величин, для поломки вкладишів шпіндельних пристроїв, який дозволяє прогнозувати початок виконання ремонтних робіт.

Розраховані довірчі інтервали для математичного сподівання поломки вкладиша з надійністю  $\gamma=0,95$ , що складають 28,78 – 32,01 доби і вказують на початок виконання ремонтних робіт по заміні вкладишів на 29 добу їх роботи.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Руденко В.И., Ошовская Е.В., Нижник Н.В. Обоснование рационального выбора конструкции шпиндельного соединения // *Металлургические процессы и оборудование*. - 2006. - № 1. - С. 28-32.
2. Ручко В.Н. Проблемы планирования ремонтов механического оборудования металлургических заводов // *Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»*. - Наукові праці. - «Металургія». - 2008. - Випуск 10(141), с. 299-309.
3. Жук А.Я., Малышев Г.П., Желябина Н.К., Клевцов О.М. *Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. Монография*. – Запорожье: Издательство государственной инженерной академии, 2008, - 500 с.
4. Плахтин В.Д. *Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин*. – М.: металлургия, 1983 – 415 с.
5. Таблиці функцій та критичних точок розподілів. Розділи: Теорія ймовірностей. Математична статистика. Математичні методи в психології. / Укладач: М.М. Горонескуль. - Х.: УЦЗУ, 2009. - 90 с.