

Іщенко А.О., Капустін С.В., Вольський Д.І.

АНАЛІЗ ВИХОДУ З ЛАДУ ВУЗЛІВ РОТОРНИХ ПИЛ

Для сучасного прокатного виробництва актуальним є питання міцності та надійності конструкцій роторних пил, які призначені для різання металопрокату.

Одним з основних факторів, який знижує надійність пили, є недостатня довговічність підшипників високошвидкісного дискового валу, що сприймає зусилля різання. Як відомо, при тривалій експлуатації роторних пил місце для посадки ріжучого диска на планшайбі зношується, інколи виникає похибка в отворі при виготовленні нового диска. Тому має місце ексцентриситет центру ваги диска, що приводить до значних вібраційних навантажень на підшипникові вузли.

Для успішного вирішення питань надійності металургійного обладнання необхідно організувати безперервно діючу систему збору та обробки даних про відмови обладнання в процесі експлуатації. Обробка таких даних дозволяє: встановити види функцій щільності ймовірності відмов; обґрунтувати математичні моделі, що відображають зміну надійності в часі; виявити елементи, які лімітують надійність металургійних машин і намітити заходи, спрямовані на усунення недоліків існуючого і спроектованого обладнання.

Критерієм відмови є стан деталей роторної пили, який унеможливорює її подальшу експлуатацію в заданому технологічному процесі. Критерієм граничного стану є вихід з ладу деталей пили, для заміни або відновлення яких потрібно проведення повного демонтажу всіх вузлів пили та проведення їх ремонту або заміни на нові. Найбільш схильним до зношування елементом пили є касета, що складається з двох барабанів та натяжного ролика, їх підшипників, ременів на барабанах та корпусу.

Ключові слова: міцність, надійність, ексцентриситет, пили, ріжучий диск.

Постановка проблеми. До теперішнього часу залишалися невирішеними питання надійності конструкцій роторних пил.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно розрахунок міцності підшипників дискового валу роторних пилок проводився методами статистики, враховуючи вагу шківів ремінної передачі, маховика планшайб з ріжучим диском і зусилля різання [1],[2],[3],[4]. Також зусилля різання дисковими пилами, зазвичай, визначались за допомогою питомої роботи різання [1],[3],[4]. Однак, в області режимів різання роторними пилами, тобто при товщині зрізу 0,05...2 мм, застосування цієї методики потребує проведення комплексу дослідницьких робіт з метою розширення сфери її застосування [5],[7],[8].

На сьогоднішній день науковцями нашої та інших країн проведено ряд досліджень та опубліковано деякі статті на тему підвищення стійкості до зносу та ефективності використання пил гарячого різання в умовах сучасного металургійного виробництва. При цьому залишалися невирішеними питання надійності цих конструкцій.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз виходу з ладу роторних пил шляхом статистичної обробки результатів дослідження за допомогою методики визначення кількісних значень показників надійності.

Основний матеріал дослідження. Одним з факторів, який знижує надійність пили, є недостатня довговічність підшипників високошвидкісного дискового валу, що сприймає

зусилля різання. Як відомо, при тривалій експлуатації пили місце для посадки ріжучого диска на планшайбі зношується, інколи виникає похибка в отворі при виготовленні нового диска. Тому має місце ексцентриситет центру ваги диска, що приводить до значних вібраційних навантажень на підшипникові вузли.

При аналізі конструкцій роторних пил, що використовуються в прокатному виробництві слід звернути увагу на одну особливість роторних пил — незважаючи на різке підвищення швидкостей подачі і, відповідно, збільшення зусиль різання, потужності електродвигунів обертання дисків такі ж або навіть менше, ніж у пилок, наприклад, салазкових з тим же діаметром диска. Зазначене пояснюється тим, що в роторних пилах при великих швидкостях подачі власне процес різання триває десятки частки секунди, робота різання виконується як за рахунок потужності двигуна, так і за рахунок маховиків в приводі диска, які віддають кінетичну енергію, накопичену на холостому ході. Тому оскільки частину роботи різання перебирає маховик, двигун диска може мати меншу потужність ніж у салазкових пил. Однак під час різання відбувається зниження оборотів дискового валу, так звана просадка за швидкістю, тому продуктивність роторних пил визначається часом відновлення двигуном номінальних оборотів. Лише після відновлення номінального числа оборотів може подаватися команда на виконання наступного різі. Просадка за швидкістю не тільки зменшує продуктивність роторних пил, але й викликає інтенсивне проковзування ременів в ремінній передачі механізму обертання диска, вважаючи, що під час різання двигун намагається підтримувати номінальну кількість оборотів. Це в свою чергу призводить к зносу як шківів так і потребує регулярної заміни зношених ременів. Тому необхідна подальша робота з удосконалення як обладнання для різання прокату так і технології розкрою прокату.

Для успішного вирішення питань надійності металургійного обладнання необхідно організувати безперервно діючу систему збору та обробки даних про відмови обладнання в процесі експлуатації. Обробка таких даних дозволяє: встановити види функцій щільності ймовірності відмов; обґрунтувати математичні моделі, що відображають зміну надійності в часі; виявити елементи, які лімітують надійність металургійних машин і намітити заходи, спрямовані на усунення недоліків існуючого і спроектованого обладнання. Крім того, дані про відмови використовують для розробки обґрунтованих методик розрахунку кількісних показників надійності; режимів профілактичного обслуговування та ремонтів; норм кількості запасних частин і ряду інших заходів щодо вдосконалення технічного обслуговування.

Дослідження надійності металургійного обладнання в реальних умовах експлуатації майже не піддається плануванню і вимагає великих витрат часу на отримання необхідного обсягу однорідних вихідних даних, бо фіксація відмов в технічній документації ведеться різними особами. Переваги цього способу, який полягає у фіксації відмов вузлів обладнання в агрегатному журналі, це низька ціна і повна відповідність експериментальних даних умовам експлуатації.

Методика визначення кількісних значень показників надійності зводиться до послідовного вирішення таких завдань, як збір даних, встановлення виду закону відмов, ступеня близькості емпіричного і теоретичного розподілів, обчислення параметрів закону відмов і надійності виробу, який досліджується.

Потік відмов роторних пил (напрацьованих до відмови) в годинах за рік їх експлуатації виражається наступним рядом:

Ремонт та відновлення деталей машин

Таблиця 1 – Потік відмов роторної пили

№	Відмови	Дата	Години
1	заміна касети	19.03.2009	
2	інший ремонт	16.04.2009	624
3	заміна касети	07.05.2009	528
4	заміна касети	19.06.2009	1008
5	інший ремонт	01.07.2009	264
6	інший ремонт	10.07.2009	216
7	інший ремонт	14.07.2009	96
8	інший ремонт	13.08.2009	720
9	інший ремонт	17.08.2009	96
10	заміна касети	20.08.2009	72
11	інший ремонт	23.12.2009	72

Попередня обробка експериментальних даних полягає в табулюванні за прийнятою ознакою, у нашому випадку за кількістю відмов, що припадають на заданий інтервал часу. Кількість інтервалів приймають в межах 8:12.

Орієнтовне значення інтервалу Δt можна визначити за формулою

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3.3 \cdot \log n'} \quad (1)$$

де $t_{\max}$, $t_{\min}$ — максимальний та мінімальний доробок до відмови, год;
 n — загальна кількість відмов.

В нашому випадку

$$\Delta t = \frac{1008 - 72}{1 + 3.3 \cdot \log 11} = 212,72 \text{ годин.}$$

Будемо вважати, що в нашому випадку середнє значення $\Delta t = 200$ годин. У кожному інтервалі підраховуємо кількість відмов n_i . В результаті отримуємо варіаційний ряд випадкової величини (перший і другий стовбці табл. 2).

Таблиця 2 – Варіаційний ряд роторних пил

Δt , годин	n_i	n	$\frac{n_i}{n}$	$\sum \frac{n_i}{n}$	$\frac{n_i}{n \cdot \Delta t}$
1	2	3	4	5	6
0 - 200	4	11	0,3636	0,3636	0,0018
200 - 400	2	11	0,1818	0,1818	0,0009
400 - 600	1	11	0,0909	0,0909	0,0005
600 - 800	2	11	0,1818	0,1818	0,0009
800 - 1000	0	11	0	0	0
1000-1200	1	11	0,0909	0,0909	0,0005

Ремонт та відновлення деталей машин

Статистична функція розподілу розрахована шляхом послідовного обчислення частоти $\frac{n_i}{n}$, накопиченої частоти $\sum \frac{n_i}{n}$ емпіричної щільності ймовірності $\frac{n_i}{n \cdot \Delta t}$. Для визначення виду закону відмов статистичну функцію розподілу (перший і п'ятий стовбці табл. 2) представляємо гістограмою (рис. 1), візуальний аналіз якої дозволяє прийняти гіпотезу про те, що відмови шламових відновлених і нових насосів описуються нормальним законом.

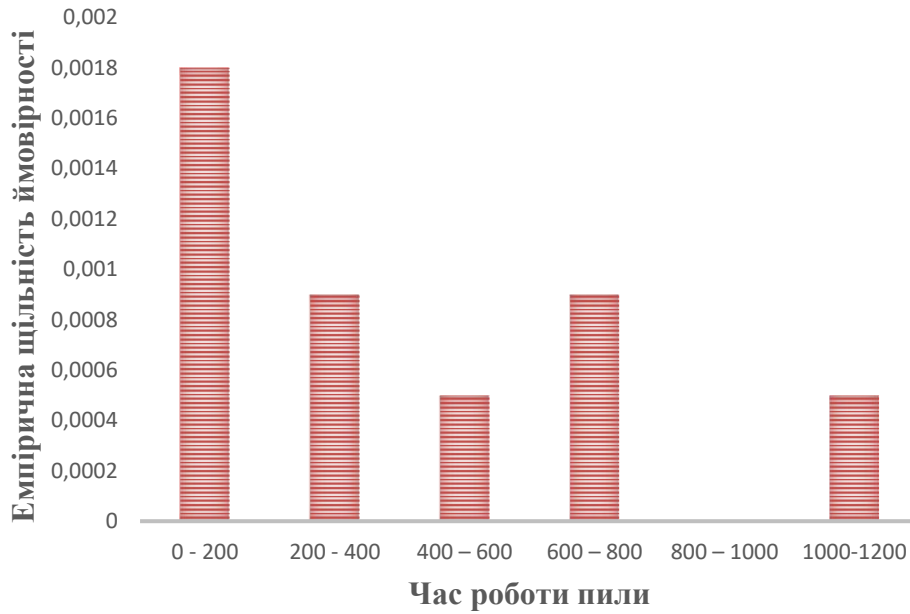


Рисунок 1 – Гістограма відмов роторних пил

Цей закон характеризується двома параметрами: математичним очікуванням напрацювання до відмови t_0 і середньоквадратичним відхиленням σ . Експериментальний розподіл відрізняється від теоретичного наявністю асиметрії (рис. 2, а) і ексцесу (рис. 2, б).

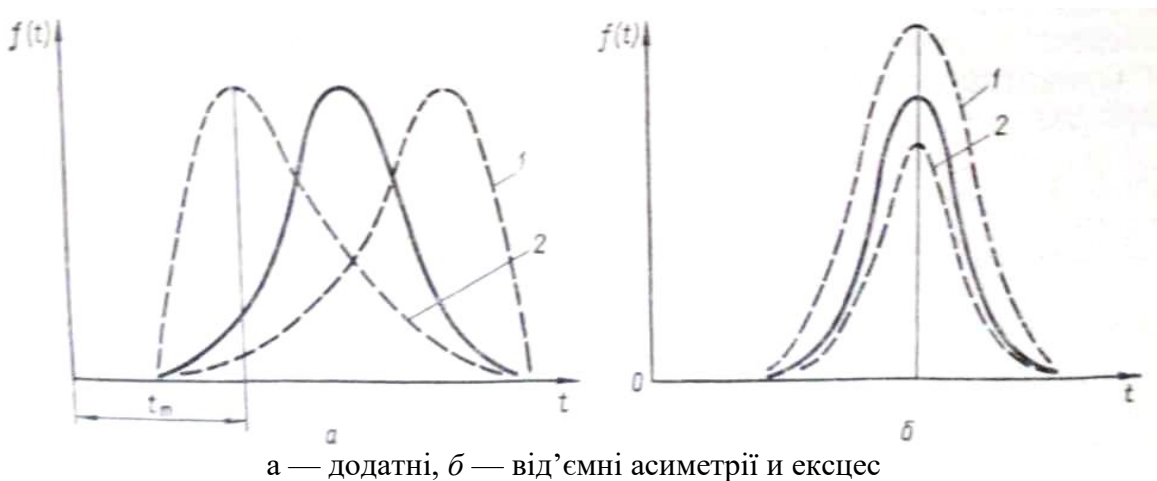


Рисунок 2 – Характерні похибки теоретичної кривої нормального розподілу.

Наявність асиметрії і ексцесу вказує на те, що експериментальний розподіл відрізняється від прийнятого теоретичного. Ця відмінність може бути випадковою, пов'язаною з обмеженою

Ремонт та відновлення деталей машин

кількістю зареєстрованих відмов, або не випадковою, обумовленою неправильно обраною статистичною моделлю. Необхідно переконатися в тому, що прийнятий теоретичний розподіл (в нашому випадку нормальний) несуттєво відрізняється від експериментального. Для оцінки ступеня їх близькості використовують критерії згоди (критерій Пірсона, критерій Колмогорова та ін.).

Розрахунки параметрів нормального закону відмов пов'язані з виконанням великої кількості обчислень. Спростити обчислення можна наступним чином. Центральні моменти μ_i не залежать від початку відліку. Тому за початок відліку приймаємо умовну середину варіаційного ряду (значення t_n відповідне максимальному n_i), а дійсний варіаційний ряд замінюємо наведеним (табл. 3), члени якого отримуємо відніманням $t_n = 500$ з усіх значень t_i (другий стовпець табл. 3). Це призводить до зменшення оцінки математичного очікування доробок до відмови $\bar{t}_0$ на величину t_n . Отримані значення ділимо на Δt , що знову зменшить $\bar{t}_0$ в Δt раз, а оцінку дисперсії $\overline{\sigma^2}$ — в $(\Delta t)^2$ раз. Після перетворень змінна t_i замінюється змінною x_i четвертий стовпець табл. 3), яку визначаємо

$$x_i = \frac{t_i - t_n}{\Delta t}. \quad (2)$$

Таблиця 3 – Наведений варіаційний ряд відмов роторних пил

								Перевірка	
Δt	t_i	n_i	X_i	$n_i X_i$	$n_i X_i^2$	$n_i X_i^3$	$n_i X_i^4$	X_{i+1}	$n_i (X_{i+1})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 - 200	100	4	-2	-8	16	-32	64	-1	-4
200 - 400	300	2	-1	-2	2	-2	2	0	0
400 - 600	500	1	0	0	0	0	0	1	1
600 - 800	700	2	1	2	2	2	2	2	4
800 - 1000	900	0	2	0	0	0	0	3	0
1000 - 1200	1100	1	3	3	9	27	81	4	4
всього:		10		-5	29	-5	145	9	5

Імовірність безвідмовної роботи $p(t)$, щільність розподілу $f(t)$ і інтенсивність відмов $\lambda(t)$ при нормальному законі розподілу знаходимо за формулами:

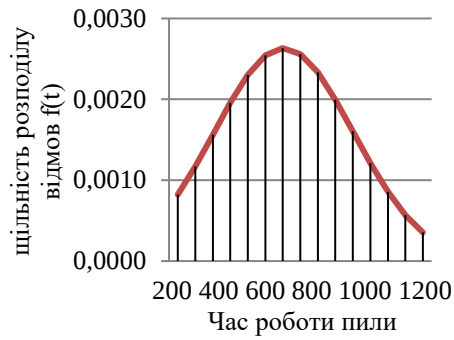
$$p(t) = \frac{1 + \Phi\left(\frac{t_0 - t_i}{\sigma}\right)}{1 + \Phi\left(\frac{t_0}{\sigma}\right)}; \quad (3)$$

$$f(t) = \frac{2}{\left[1 + \Phi\left(\frac{t_0}{\sigma}\right)\right] \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(t_i - t_0)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right]; \quad (4)$$

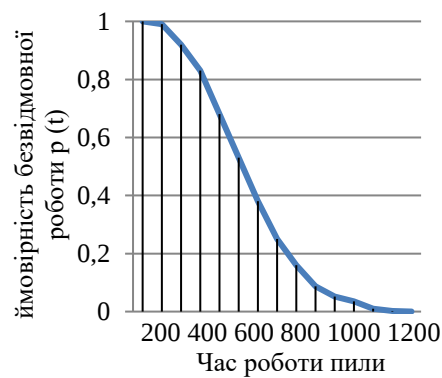
$$\lambda(t) = \frac{2}{\left[1 + \Phi\left(\frac{t_0 - t_i}{\sigma}\right)\right] \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(t_i - t_0)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right]. \quad (5)$$

Результати розрахунків показників надійності роторних пил наведені на рис. 3.

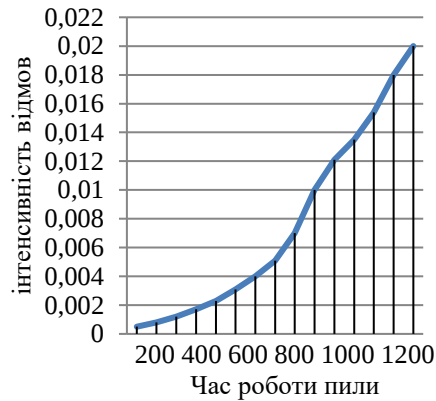
Ремонт та відновлення деталей машин



а



б



в

Рисунок 3 – а) щільність розподілу відмов $f(t)$; б) ймовірність безвідмовної роботи $p(t)$; в) інтенсивність відмов $\lambda(t)$

Згідно викладеним графікам (рис. 3) можна побачити, що зі збільшенням часу роботи пили ймовірність безвідмовної роботи знижується, і тим самим відбувається збільшення інтенсивності відмов.

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз статистичних даних відмов роторних пил в умовах прокатного цеху, який дозволив встановити, що всі показники надійності пил описуються нормальним законом розподілу.

Показано, що ремонт роторних пил відомими методами не дозволяє виконати повноцінне відновлення їх працездатності, зокрема ймовірність відмови роторних пил зростає, що в результаті призводить до зниження терміну їх служби.

Список використаних джерел:

1. *Ищенко А. О., Лоза Є. А.* Пили горячего резания проката. Конструкции та розрахунок: Монографія // ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет». – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2012. – 251 с.
2. *Ищенко А. О.* Ділянки різання прокату дисковими пилами. – К.: Вища школа, 1989, – 61 с.
3. Розрахунок машин та механізмів прокатних цехів. Часть 6. Ножиці и пилы. Під ред. *Ширяєва А.В. / Ф.К. Иванченко, В.М. Гребеник, В.И. Ширяев.* – Маріуполь, ПДТУ, 2012. – 84 с.
4. *Гребеник В. М., Иванченко Ф.К., Ширяев В.И.* Розрахунок металургійних машин та механізмів. - Київ: Вища шк., 1988. – 448 с.
5. *Седуш В.Я.* Надійність, ремонт та монтаж металургійних машин. – К.: НМК ВО, 1992.–368 с.
6. *Павловський М.А.* Теоретична механіка: підручник для студентів вищих навчальних закладів// *М.А.Павловський.*– Київ: Техніка, 2002 – 512с.
7. *Паливода Ю. Є.* Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / *Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я.* – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
8. Механічне обладнання металургійних заводів (устаткування прокатних цехів. *Добронос Ю.К.*– Краматорськ: ДДМА, 2019. – 50с.

Ishchenko A.O., Kapustin S.V., Volsky D.I.

ANALYSIS OF THE OUTAGE OF ROTARY SAW ASSEMBLY

For modern rolling production, the issue of strength and reliability of the structures of rotary saws, which are designed for cutting rolled metal, is relevant.

One of the main factors that reduces the reliability of the saw is the insufficient durability of the bearings of the high-speed disk shaft that perceives the cutting force. As is known, with prolonged operation of rotary saws, the place for seating the cutting disk on the faceplate wears out, sometimes an error occurs in the hole when manufacturing a new disk. Therefore, the eccentricity of the disk's center of gravity occurs, which leads to significant vibration loads on the bearing assemblies.

To successfully resolve issues of reliability of metallurgical equipment, it is necessary to organize a continuously operating system for collecting and processing data on equipment failures during operation. Processing such data allows: to establish types of failure probability density functions; to substantiate mathematical models that reflect changes in reliability over time; to identify

elements that limit the reliability of metallurgical machines and to outline measures aimed at eliminating the shortcomings of existing and designed equipment. The failure criterion is the condition of the parts of the rotary saw, which makes it impossible to continue its operation in a given technological process.

The criterion of the limiting state is the failure of the parts of the saw, for the replacement or restoration of which it is necessary to completely dismantle all the saw components and repair or replace them with new ones. The most susceptible to wear element of the saw is the cassette, which consists of two drums and a tension roller, their bearings, belts on the drums and the housing.

Keywords: strength, reliability, eccentricity, saws, cutting disc.

Стаття надійшла 11.04.2025 р.

УДК 004.056.53:519.17

doi.org/10.31498/2522-9990292025330270

Лещенко О. І.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМНИХ ПОПРАВОК

Можливості сучасних CNC систем керування верстатами дають змогу перейти до побудови програм з елементами динамічного програмування, за якого КП являє собою п-кроковий процес ухвалення рішень залежно від прогнозованої зміни умов оброблення. У цьому разі можна сказати, що на вихідні параметри системи керування верстатом з ЧПК впливатимуть, окрім координат точок поверхні деталі ще змінні керування, значення яких залежать від стану системи на даному інтервалі траєкторії переміщення. Класичним прикладом такого способу нівелювання збурювальних впливів процесу обробки є адаптивні системи, проте вартість таких проектів, з урахуванням їхнього технічного супроводу в процесі експлуатації, зростає на порядок. Тому залишаються актуальними завданням створення алгоритмів управління, що базуються на результатах попереднього моніторингу динамічних процесів обробки на різних ділянках траєкторії формоутворення. Такий підхід дає змогу за мінімальних витрат автоматично отримувати необхідні параметри поверхонь деталей, без індивідуального налаштування на обробку кожної з них.

На основі досліджень, проведених на кафедрі «Технології машинобудування» у 2019 р. впроваджено у виробництво на металургійному комбінаті «Азовсталь» технологічний процес остаточної обробки валків сортового прокату типу «на попередньо налаштованих верстатах». Це стало можливим завдяки науково обґрунтованій методиці, що дає змогу прогнозувати і враховувати у вигляді системних поправок ймовірне значення похибки позиціонування верстата в кожній точці координатної площини. У перспективі, за відповідних досліджень можна отримати поправки для корекції програмної траєкторії, як реактори на збурювальну дію вектору сил різання, що змінюється за величиною і напрямком.

Включення в модель системи формоутворення розрахункових значень поправок шляхом їх підстановки в заголовки технологічних підпрограм для верстата з пристроєм ЧПК класу CNC і таким чином керувати вихідною точністю обробки деталі.

Ключові слова: верстати з ЧПК, параметричні функції, корекція, похибки формоутворення, керуюча програма (КП), валки рейкового прокату, норми оцінки точності позиціонування верстата з ЧПК, функції екстраполяції за даними вимірювань.