

**Автухов А.К.,
Ковалевський Є.В.**
Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна
E-mail:
a.k.avtukhov@gmail.com

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФОРМУЮЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ СТАНІВ
ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ**

[https://doi. 10.5281/zenodo.15426080](https://doi.org/10.5281/zenodo.15426080)

УДК 621.746

Автухов А.К., Ковалевський Є.В. Розробка методики дослідження технологічних та експлуатаційних характеристик формуючих інструментів станів гарячої прокатки

Анотація. Показано, що при проведенні досліджень, які направлені на визначення впливу технологічних та експлуатаційних характеристик формуючих інструментів на їх ресурс, використовують досить велику кількість показників. Враховуючи те, що вихідні дані містять інформацію за різні періоди досліджень, то виникає необхідність перевірки можливості об'єднання різних вибірок в одну для можливості формування статистичних гіпотез. Зазначено, що для визначення можливості об'єднання вибірок експлуатаційних характеристик прокатних валків за різний термін часу доцільно розглядати два варіанти підходів: 1 – якщо для аналізу даних потрібно використання функцій розподілу випадкової величини, наприклад, для ймовірнісної оцінки ресурсу валків, то в цьому випадку необхідна наявність однорідності двох вибірок, тобто рівність функцій розподілу; 2 – якщо для аналізу даних достатньо використовувати лише статистики випадкової величини (середнє значення аналізованої величини, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації), наприклад, при розгляді кількості установок за період експлуатації валка, то в цьому випадку можна використовувати методику перевірки гіпотези про рівність середніх значень довільної величини. Перевірку гіпотези про однорідність двох вибірок рекомендується виконувати за наступною методикою: вся в сукупність з двох вибірок поділялася на інтервали, потім у двох масивах по цих інтервалах визначається кожна вибірка окремо і обчислюється критерій перевірки гіпотези по залежності, що враховує обсяг першої та другої вибірок; частоту в інтервалі для першої та другої вибірок; кількість інтервалів розбиття сукупної вибірки. Для перевірки гіпотези про вид розподілу рекомендується використовувати критерій Колмогорова, послідовність обчислень при використанні цього критерію наступна: вибірка розбивається на інтервали та визначається експериментальне накопичені частоти; розраховується теоретичне накопичення частоти виходячи з пропонованого виду розподілу, параметри якого розраховані за вихідними даними; визначається максимальна різниця між накопиченими теоретичними та експериментальними частотами у відповідному інтервалі; обчислюється параметр $D_{\max} = (m_m - m_e)/n$, а потім критерій $= D_{\max} \sqrt{n}$. За відповідними таблицями для критерію визначається ймовірність $P(\lambda)$ того, що гіпотетична функція розподілу не суперечить вибіркоким даним.

Ключові слова: формуючі інструменти, хромонікелевий чавун, технологічні характеристики, експлуатаційні характеристики, статистичні дослідження, випадкові величини, кореляційний аналіз.

Avtukhov A.K., Kovalevsky E.V. Development of methodology for studying the technological and operational characteristics of forming tools of hot rolling mills

Abstract. It is shown that when conducting research aimed at determining the influence of technological and operational characteristics of forming tools on their resource, a fairly large number of indicators are used. Given that the initial data contain information for different periods of research, there is a need to check the possibility of combining different samples into one for the possibility of forming statistical hypotheses. It is noted that to determine the possibility of combining samples of operational characteristics of rolling rolls for different periods of time, it is advisable to consider two options for approaches: 1 – if data analysis requires the use of random variable distribution functions, for example, for probabilistic assessment of the resource of rolls, then in this case the homogeneity of the two samples is necessary, i.e. equality of distribution functions; 2 – if for data analysis it is sufficient to use only statistics of a random variable (mean value of the analyzed variable, standard deviation, coefficient of variation), for example, when considering the number of installations during the period of operation of the roller, then in this case it is possible to use the method of testing the hypothesis of equality of the mean values of a random variable. It is recommended to perform the hypothesis test on the homogeneity of two samples using the following method: the entire set of two samples is divided into intervals, then in two arrays, each sample is determined separately according to these intervals and the criterion for testing the hypothesis is calculated based on the dependence, which takes into account the volume of the first and second samples; the frequency in the interval for the first and second samples; the number of intervals for dividing the total sample. To test the hypothesis on the type of distribution, it is recommended to use the Kolmogorov criterion, the sequence of calculations when using this criterion is as follows: the sample is divided into intervals and the experimental accumulated frequency is determined; the theoretical accumulation of frequency is calculated based on the proposed type of distribution, the parameters of which are calculated from the initial data; the maximum difference between the accumulated theoretical and experimental frequencies in the corresponding interval is determined; the parameter $D_{max} = (m_m - m_e)/n$ is calculated, and then the criterion $= D_{max} \sqrt{n}$. According to the corresponding tables for the criterion, the probability $P(\lambda)$ that the hypothetical distribution function does not contradict the sample data is determined.

Keywords: forming tools, chromium-nickel cast iron, technological characteristics, operational characteristics, statistical research, random variables, correlation analysis.

Постановка проблеми

Продуктивність прокатного виробництва і собівартість прокату, що випускається, нерозривно пов'язані з якістю та експлуатаційною стійкістю формуючих інструментів – прокатних валків.

Протягом останніх років для виготовлення формуючих інструментів гарячої прокатки широко використовується хромонікелевий чавун. З цього сплаву виготовляють шаропркатні та сортопркатні валки, у тому числі, з литими струмками [1], а також робочий шар – листопркатних валків як стаціонарного, так і відцентрового виливка [2].

Двошарові хромонікелеві формуючі інструменти знаходять широке застосування в клітинах безперервних і напівбезперервних широкосмугових, середньо-і товстолистових, а також дресирувальних станів.

Вітчизняні та зарубіжні розробки, що стосуються виробництва, застосування та підвищення терміну служби формуючих інструментів, показують, що реалізація проблеми підвищення їхньої стійкості проводиться в декількох напрямках. Головні з них включають розробку нових та оптимізацію застосовуваних складів валкових чавунів; їх зміну; удосконалення технології вилівки та термообробки [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

При проведенні досліджень, що направлені на визначення впливу технологічних та експлуатаційних характеристик валків на їх ресурс, використовують досить велику кількість показників такі, як: твердість поверхні бочки; напрацювання вадка за період експлуатації; величина знімання металу з поверхні валка при перешліфування за весь період експлуатації; число установок перешліфовок за весь період експлуатації; середнє напрацювання валка на 1 мм знятого шару металу при перешліфування; середній наробіток валка за встановлення; середнє знімання металу за встановлення та інші [4,5,6].

Для аналізу технологічних та експлуатаційних характеристик формуючих інструментів використовують методи статистичних досліджень: розрахунок статистичних параметрів, перевірка статистичних гіпотез, кореляційний та регресійний аналіз [6].

Під час проведення досліджень отримують об'ємні вибірки даних експлуатаційних показників прокатних валків за різні періоди часу.

Враховуючи те, що вихідні дані містять інформацію за різні періоди досліджень, то виникає необхідність перевірки можливості об'єднання різних вибірок в одну для можливості формування статистичних гіпотез [7]. Використання більшого масиву даних під час проведення статистичних аналізів суттєво підвищує точність отриманих результатів.

Формулювання мети досліджень

Мета роботи: розробка методики дослідження технологічних та експлуатаційних характеристик формуючих інструментів станів горячої прокатки.

Результати досліджень

Для визначення можливості об'єднання вибірок експлуатаційних характеристик прокатних валків за різний термін часу доцільно розглядати два варіанти підходів:

1) якщо для аналізу даних потрібно використання функцій розподілу випадкової величини, наприклад, для ймовірнісної оцінки ресурсу валків, то в цьому випадку необхідна наявність однорідності двох вибірок, тобто рівність функцій розподілу;

2) якщо для аналізу даних достатньо використовувати лише статистики випадкової величини (середнє значення аналізованої величини, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації), наприклад, при розгляді кількості установок за період експлуатації валка, то в цьому випадку можна використовувати методіку перевірки гіпотези про рівність середніх значень довільної величини.

Перевірку гіпотези про однорідність двох вибірок рекомендується виконувати за наступною методикою: вся в сукупність з двох вибірок поділялася на інтервали (для виконання розрахунків доцільно прийняти 7 інтервалів), потім у двох стовпцях по цих інтервалах визначається кожна вибірка окремо і обчислюється критерій перевірки гіпотези χ^2 по залежності

$$\chi^2 = n_1 n_2 \sum_{k=1}^k \frac{1}{m_{11} + m_{12}} \left(\frac{m_{11}}{n_1} - \frac{m_{12}}{n_2} \right)$$

де n_1 та n_2 – обсяг першої та другої вибірок;

m_{11} та m_{12} – частота в інтервалі для першої та другої вибірок;

k – кількість інтервалів розбиття сукупної вибірки.

Гіпотеза про однорідність двох вибірок приймається, якщо за заданим рівнем значущості α дотримується нерівність:

$$\chi^2 < \chi^2_{\alpha; k-1}$$

де $k-1$ – число ступенів свободи, а $\chi^2_{\alpha; k-1}$ – табличне значення критерію за відповідним рівнем значущості α .

Для перевірки гіпотези та рівності середніх значень випадкової величини у двох вибірках рекомендується проводити, насамперед, розрахунок статистик з кожної вибірки. На наступному етапі перевіряється гіпотеза про рівність дисперсій двох вибірок за критерієм Фішера $F = S_1^2 / S_2^2$, який має F-розподіл с $k_1 = n_1 - 1$ та $k_2 = n_2 - 1$ ступенями свободи, де S_1^2 , n_1 та S_2^2 , n_2 відповідно дисперсії ($S_1^2 > S_2^2$) та обсяги двох вибірок [7].

При прийнятому рівні значущості α гіпотеза щодо рівності дисперсій двох вибірок підтверджується, якщо $F < F_{\alpha; k_1; k_2}$, де $F_{\alpha; k_1; k_2}$ – табличні значення критерію. Потім перевіряється гіпотеза щодо рівності середніх значень випадкової величини двох вибірок, при цьому якщо гіпотеза рівності дисперсії не була відкинута для перевірки гіпотези рівності середніх обчислюється критерій Стьюдента

$$t = \frac{x_1 - x_2}{S} \sqrt{n_1 \cdot n_2 / (n_1 + n_2)}$$

де

$$S = \sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2 / (n_1 + n_2 - 2)}$$

Умовою прийняття гіпотези про рівність середніх є нерівність $|t| < t_{\alpha/2; k}$, де $t_{\alpha/2; k}$ – табличні значення критерію Стьюдента або рівня значущості α с числом ступенів свободи $k = n_1 + n_2 - 2$.

Якщо ж гіпотеза рівності дисперсії відкинута, то перевірка гіпотези про рівність середніх виконується за зазначеною вище схемою, але число ступенів свободи обчислюється за формулою:

$$k' = \frac{1}{\frac{c^2}{n_1 - 1} + \frac{(1 - c)^2}{n_2 - 1}}$$

де

$$c = \frac{\frac{S_1^2}{n_1}}{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

Для перевірки гіпотези про вид розподілу рекомендується використовувати критерій Колмогорова, послідовність обчислень при використанні цього критерію наступна: вибірка розбивається на інтервали та визначається експериментальне накопичені частоти; розраховується теоретичне накопичення частоти виходячи з

пропонованого виду розподілу, параметри якого розраховані за вихідними даними; визначається максимальна різниця між накопиченими теоретичними (m_T) та експериментальними частотами (m_e) у відповідному інтервалі; обчислюється параметр $D_{max} = (m_T - m_e)/n$, а потім критерій $= D_{max} \sqrt{n}$, де n - обсяг вибірки. За відповідними таблицями для критерію визначається ймовірність $P(\lambda)$ того, що гіпотетична функція розподілу не суперечить вибірковим даним. Кореляційний аналіз використовується з метою виявлення зв'язків між окремими технологічними та експлуатаційними характеристиками, на базі яких можливо зробити практичні корисні висновки. Для оцінювання взаємозв'язку між характеристиками запропоновано використовувати коефіцієнт кореляції, що визначається з співвідношення

$$r = \frac{\frac{\sum xy}{n} - x_s \cdot y_s}{S_x' \cdot S_y'}$$

де n - обсяг виборки; x_s і y_s - середнє значення; $S_x' \cdot S_y'$ - середні квадратичні відхилення (невиправлені) відповідних випадкових величин.

Використовуючи дані щодо коефіцієнтів парної кореляції, пропонується обчислювати і коефіцієнти відповідних рівнянь регресії. Наприклад, при двох факторах лінійне рівняння має вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

У якому коефіцієнти a_0, a_1, a_2 обчислюються за відповідними залежностями.

$$a_1 = \beta_1 Sy / Sx_1; \quad a_2 = \beta_2 Sy / Sx_2$$

$$\bar{a}_0 = \bar{y} - a_1\bar{x}_1 + a_2\bar{x}_2$$

При цьому

$$\beta_1 = (r_yx_1 - r_yx_2 \cdot r_{x_1x_2}) / (1 - r^2 \cdot x_1x_2)$$

$$\beta_2 = (r_yx_2 - r_yx_1 \cdot r_{x_1x_2}) / (1 - r^2 \cdot x_1x_2)$$

При аналізі взаємних зв'язків характеристик валків доцільно використовувати графі кореляційних зв'язків, до яких входять тільки зв'язки виявлені при рівні 005.

Висновки

Використання наведеної методики надасть можливість здійснити достовірний аналіз впливу технологічних та експлуатаційних характеристик прокатних валків на їх ресурс при експлуатації. Отримані результати допоможуть визначити фактори, зміни яких можуть суттєво підвищити експлуатаційні характеристики формуючих інструментів станів гарячої прокатки.

Список використаних джерел

1. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Александрова Н.М., Белкин Е.Л., Власовец В.М., Клочко О.Ю., Мартыненко А.Д. Производство и применение прокатных валков. Справочник. Под ред. проф. Т.С. Скобло. Харьков. Изд. ЦД № 1. 2013. 572 с.

2. Автухов А. К. Методичні засади оцінки економічної ефективності у технологіях виробництва прокатних валків. Актуальні проблеми інноваційної

економіки. 2017. №2. С. 25–31.

3. Автухов А.К. Обобщение разработок по использованию и производству хромоникелевого чугуна для изготовления прокатных валков. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. 2017. Вип. 183. С.64–76.

4. Скобло Т.С., Автухов А.К., Соколов Р.Г. Опыт эксплуатации рабочих валков стана 2000. Научный потенциал на света-13. Материали за IX Международна научна практична конференци. Болгария. 2013. Том 20. С. 13–27.

5. Автухов А.К. Подбор в комплект двухслойных хромоникелевых валков исполнения ЛПХНМд. Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків. НТУ «ХПІ». 2015. №24 (1133). С. 3–8.

6. Автухов А.К., Полянский О.С. Методика і методологія проведення досліджень підвищення довговічності прокатних валків з хромонікелевого чавуну. Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків. НТУ «ХПІ». 2017. №43(1265). С. 5–9.

7. Руденко В.М. Математична статистика: навчальний посібник. Київ. Центр учбової літератури. 2012. 304 с.

References

1. Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Aleksandrova N.M., Belkin E.L., Vlasovets V.M., Klochko O.Yu., Martynenko A.D. (2013). Production and application of rolling rolls. Reference book. Ed. Prof. T.S. Skoblo. Kharkiv. Izd. CD No. 1. 572 p.

2. Avtukhov A.K. (2017). Methodical principles of economic efficiency assessment in rolling roll production technologies. Actual Problems of Innovative Economy. №2. P. 25–31.

3. Avtukhov A.K. (2017). Generalization of developments on the use and production of chromium-nickel cast iron for the manufacture of rolled rolls. Resource-saving technologies, materials and equipment in repair production: Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture. Vol. 183. P. 64–76.

4. Skoblo T.S., Avtukhov A.K., Sokolov R.G. (2013). Experience of exploitation of workers rolls of stan 2000. The Scientific Potential of the World-13. Materials for the IX International Scientific Practical Conference. Bulgaria. Vol. 20. P. 13–27.

5. Avtukhov A.K. (2015). Selection in a set of two-layer chromium-nickel rolls performed by LPHNMd. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment for material processing in mechanical engineering and metallurgy. Kharkiv. NTU "KhPI". №24 (1133). P. 3–8.

6. Avtukhov A.K., Polyanskiy O.S. (2017). Methods and methodology for conducting research on increasing the durability of rolled rolls made of chromium-nickel cast iron. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment for material processing in mechanical engineering and metallurgy. Kharkiv. NTU "KhPI". №43(1265). P. 5–9.

7. Rudenko V.M. (2012). Mathematical statistics: textbook. Kyiv. Center for Educational Literature. 304 p.