

О.М. Гречаний, Т.О. Васильченко, А.О.Власов,
С.В. Федоренко, Д.А. Синявський, Є.С. Цегельний
**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ «МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ» В ТЕХНІЧНІЙ
ДІАГНОСТИЦІ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Анотація. Вказано переваги систем змащування «масло-повітря». Встановлено вплив залізовмісних домішок на роботу системи змащення. Проаналізовано методи теорії розпізнавання для визначення граничного значення залізовмісних присадок у робочій рідині системи змащення. Наведено приклад практичного застосування використання методу «мінімального ризику» для визначення допустимого вмісту залізної стружки в робочій рідині системи змащення «масло-повітря».

Ключові слова: прокатний стан, система змащування, технічна діагностика, метод «мінімального ризику»

Постановка проблеми

Складні умови роботи металургійного обладнання, обумовлені динамічними навантаженнями, вимагають особливої уваги при конструюванні їхніх вузлів у сфері надійності та безвідмовної роботи. Окрім забезпечення надійності під час експлуатації складові частини технологічного обладнання мають допускати легке регулювання, а у випадку аварійних поломок, дозволяти виконувати швидко заміну або ремонт окремих вузлів або деталей [1].

Основні виробничі показники прокатного стану, такі як продуктивність та енергоефективність, а також його працездатність в цілому, здебільше залежать від того, наскільки ефективно та якісно працюють всі його виконавчі механізми. В свою чергу цей взаємозв'язок викликає необхідність розробки механізмів приводної частини прокатної кліти таким чином, щоб її конструкція відповідала всім експлуатаційним та сучасним технологічним вимогам.

Працездатність клітей стану «1680» в значній мірі залежить від того, наскільки ефективно працює обладнання приводу. Аналіз роботи прокатної лінії в цілому показав, що існуючий рівень динамічних навантажень, характерний для всіх широкоштабових станів, є однією з причин прискорення зношення вузлів та поломок елементів обладнання [2].

З метою підвищення надійності та довговічності шпиндельного вузла привода прокатної кліти стана гарячої прокатки «1680», пропонується перехід з систем змащення бронзових вкладишів та вальниць механізму врівноваження типу «масляний туман» на системи типу – «масло-повітря».

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Бронзові вкладиші універсальних шпинделів дефіцитні, дорого коштують, але при цьому мають незначний термін експлуатації. На основі передових наукових розробок, можлива заміна їх на високоякісні вкладиші з армованих полімерів [3], що в комплексі з модернізацією системи змащення дозволяє отримати збільшення терміну експлуатації вузла тертя більш ніж в два рази. Також підвищується стійкість до ударних динамічних навантажень, з'являється властивість розподілення навантаження та зменшуються шумові ефекти від їхньої роботи [3].

Принцип змащування «масло-повітря» має беззаперечні переваги за змащенням елементів, розподілом витрати, і забезпечує об'ємне надходження масла при інжекції повітря на кожну вальницю обладнання, гарантуючи в кожній точці змащування точний обсяг, незалежно від протитиску вальниці, атмосферного тиску, температури і в'язкості масла [4].

В таких системах мастильний матеріал подається до поверхонь у вигляді струменя аерозолі, що формується змішувачами, встановленими у точках змащення, до яких рідкий мастильний матеріал і повітря підводяться окремо. Такі системи створені на заміну систем масляного туману, що не завжди є екологічними. Мастильні системи типу «масло-повітря» застосовують практично для будь-яких типів поверхонь тертя, але найефективнішими вони є при змащенні пар тертя, що працюють: за високих температур (прокатні стани, рольганги печей тощо); з високими лінійними або коловими швидкостями; за наявності впливу води, пилу чи шкідливих газів [5].

Прокатне виробництво пов'язане з виникненням дрібних пиловидних часточок окалини, яка являється забруднювачем робочої рідини. Як правило ця проблема вирішуються встановлення різного роду фільтрів, але з часом по ряду факторів всеодно робоча рідина забруднюється, тому важливо знати критичний вплив забруднюючих, твердих часточок на роботоспроможність всієї гідро-системи в цілому.

Забруднення масла частками органічного й неорганічного походження розмірами більш 200 мкм не допускається [6].

У процесі зберігання й експлуатації контролюють стан робочої рідини й вживають заходів для підвищення її довговічності. Регулярно перевіряють в'язкість, наявність механічних домішок, води й нерозчиненого повітря [7].

При візуальних методах про чистоту робочої рідини судять по кількості опадів на фільтрах тонкого очищення. Найбільш перспективними є гранулометричні методи, які засновані на підрахунку числа часток, укладених у заданий розмірний інтервал. До них відносяться мікроскопічні (використовується мікроскоп) і мікрофотографічні методи. Їхніми недоліками є необхідність відбору проб рідини з агрегатів, трудомісткість і більший ступінь суб'єктивності [7].

З метою оптимізації прийняття рішень при проєктуванні нових вузлів та деталей металургійного обладнання вектор прийняття достовірних конструкторських рішень все більше зміщується в бік математичного моделювання виробничих процесів та ситуацій виникаючих при виконанні технологічних операцій [8].

За даними моделювання можна перевірити поведінку механізму в ідеальних та екстремальних умовах його роботи. [9].

Мета дослідження

Визначення допустимого значення вмісту продуктів зносу у вигляді металевої стружки можна використовувати загальну теорію розпізнавання, яка складає важливий розділ технічної кібернетики і займається розпізнаванням образів будь-якої природи і характеру. Алгоритми розпізнавання частково ґрунтуються на діагностичних моделях, які встановлюють зв'язок між станом технічної системи і діагностичними сигналами, що поступають від цих систем.

Найчастіше за все застосовують методи Байеса, для якого потрібен великий об'єм попередньої інформації з складанням діагностичної матриці. Це є основним недоліком методу, так як вимагається заздалегідь провести статистичну обробку даних експлуатації, а, в окремих випадках, поставити і провести спеціальні дослідження, імітуючі несправності об'єктів, що вивчаються. Крім того, цей метод характерний і тим, що відбувається "пригнічення", тобто – ігнорування, рідкісних діагнозів [10].

Інші методи відрізняються від методу Байеса правилами ухвалення рішень. Тут вирішальне правило вибирається виходячи з умов оптимальності. Зокрема, що стосується методу «мінімального ризику», оптимальним є рішення прийняте з умови мінімуму ризику втрати роботоспроможності об'єктом.

Для систем змащення «масло-повітря» не розроблені алгоритми розпізнавання працездатності системи при кількісному забрудненні робочої рідини, тому робота в даному напрямку є актуальною й перспективною.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відповідальним моментом процесу розпізнавання є використання відповідних правил ухвалення рішень на основі статистичних та інформаційних методів.

При першому методі мають інформацію про закони зміни параметрів та їх статистична характеристика, отримана в результаті обробки наслідків аварійних відмов. Принцип вибору ознак стану заключається в аналізі втрати інформації, пов'язаної з неповнотою їх контролю, а склад контрольних ознак складають таким чином, щоб втрата інформації після контролю не перевищувала означеного рівня. Якщо значимість втрат по кожній з ознак однакова, то можна встановити мінімальний набір ознак, що забезпечують задану імовірність нормальної роботи досліджуемого об'єкта [10].

При інформаційному методі контроль станів об'єкту розглядається як проведення дослідів по заданому алгоритму, в результаті чого невизначеність в знаннях про дійсний стан досліджуемого об'єкта замінюють інформацією [10].

Метод «мінімальних ризиків» відноситься до статистичних методів та добре описується роботою [5].

При одному діагностичному параметрі x (наприклад, вібрація, температура, вміст продуктів зносу в робочій рідині або мастилі і т.д.) задача полягає в тому, що вибирають значення X_0 параметра X . При $X > X_0$ приймають рішення про зняття обстежуваного об'єкту з експлуатації, а при $X < X_0$ допускають його подальшу роботу.

При такій умові розділення проводять на два класи (диференціальна діагностика або дихотомія): D_1 - справний стан об'єкту, D_2 - несправний стан (наявність дефекту) (рис.1) [5].

По отриманому значенню X_0 визначають вірогідність помилкової тривоги $P(H_{21})$ і вірогідність пропуску дефекта $P(H_{12})$.

Ймовірність помилкової тривоги:

$$P(H_{21}) = P_1 \int_{-\infty}^{x_0} f\left(\frac{x}{D_1}\right) dx, \quad (1)$$

де $P_1 = P(D_1)$ – апіорна вірогідність діагнозу D_1 (прийнято вважати відомою на підставі попередніх статистичних даних).

Ймовірність пропуску дефекту:

$$P(H_{12}) = P_2 \int_{-\infty}^{x_0} f\left(\frac{X}{D_2}\right) dx, \quad (2)$$

Загальна імовірність ризику буде рівна:

$$R = C_{21} \cdot P(H_{12}) + C_{12} \cdot P(H_{21}), \quad (3)$$

де C_{12} – ціна поділу пропуску;

C_{21} – ціна поділу помилкової тривоги

За отриманими значеннями будують графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта рис. 1.

Перехрещення графіків $f(x/D_1)$ та $f(x/D_2)$ вказує на граничний вміст домішок при досягненню якого варто зупинити об'єкт для виконання профілактичних або ремонтних робіт.

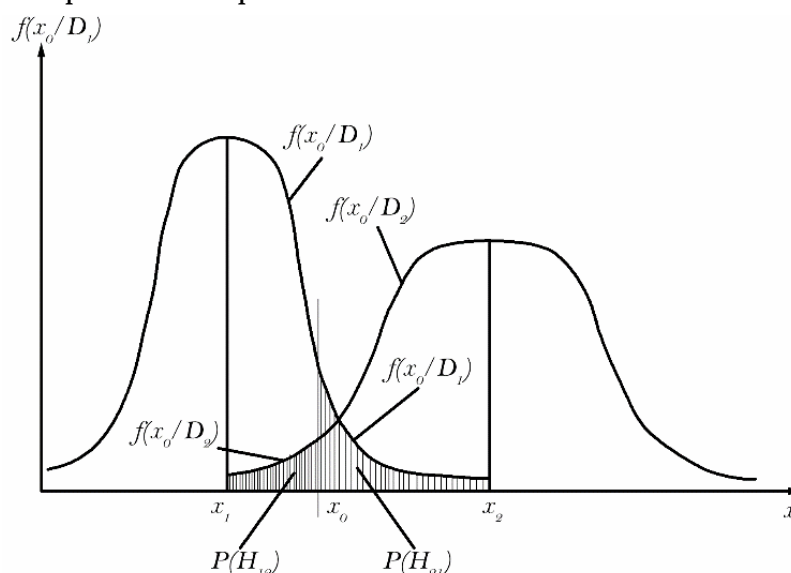


Рисунок 1 – Графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта при щільності розподілу вмісту домішок в робочій рідині для справного D_1 і не справного D_2 станів об'єкта

При зміщенні акцентів в бік стратегії обслуговування за технічним станом об'єкта стає більш актуальним діагностування технічного стану, яке вирішує питання встановлення дат міжінспекційного сервісу. Таким чином зростає актуальність не так графіка ремонтів обладнання, як графіків його огляду, інспекцій та контролю технічного стану [11].

Розглянемо випадок встановлення роботспроможного стану системи змащування «масло-повітря» методом «мінімального ризику» для бронзових

вкладишів універсального шпинделя прокатного стану 1680. Так як закон, якому підпорядковується вихід з ладу вкладишів передбачається нормальним [12], то формули (1) та (2) приймуть вид:

$$P(H_{21}) = P_1 \int_{x_0}^{\infty} \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_1 - x_0)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad (4)$$

$$P(H_{12}) = P_2 \int_{-\infty}^{x_0} \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_1 - x_0)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad (5)$$

де σ_1, σ_2 – середньоквадратичне відхилення;

x_0 – граничне значення діагностичного параметра, що забезпечує мінімум середнього ризику.

Для спрощення (4) та (5) можна перетворити:

$$P(H_{21}) = P_1 \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \sum_{x_1=x_0}^{x_1=n} e^{-\frac{(x_1 - \bar{x}_1)^2}{2\sigma_1^2}}, \quad (6)$$

$$P(H_{12}) = P_2 \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \sum_{x_1=-n}^{x_1=x_0} e^{-\frac{(x_1 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_2^2}}, \quad (7)$$

де x_1, x_2 – середні значення діагностичних параметрів x_1, x_2 , відповідно для справних та несправних станів об'єкта діагностування.

Приймаючи при цьому, що для $P(H_{21})$ та $P(H_{12})$ відповідно:

$$x_1 = x_0; x_2 = x_1 + \Delta x; \dots x_n = x_{n-1} + \Delta x \quad (8)$$

$$x_1 = x_0; x_2 = x_1 - \Delta x; \dots x_n = x_{n-1} - \Delta x \quad (9)$$

де Δx – інтервал варіювання.

Згідно [13] встановлено 19 класів чистоти рідини, обумовленої гранулометричним складом, тобто числом частинок різного розміру, що містяться в 100 см³ проби рідини. Для приводів загальнопромислового призначення при тиску до 15 МПа [13] застосовують рідини 8-7 класу, що орієнтовно дорівнює 9-10 г залізовмісних домішок на 100 см³, та відповідає 13/11-12/10 класу чистоти встановленим ISO [14], яке регламентує не тільки розмір забруднюючих частинок, а й їхню кількість [15].

Таким чином можна достовірно прийняти, що при справному стані середнє значення домішок складає $\bar{x}_1 = 8$ (8 г заліза на 100 см³ масла) при середньоквадратичному відхиленні $\sigma_1 = 1,5$. При наявності дефекту на елементах, що зазнають тертя (несправний стан) [12], ці значення дорівнюють $\bar{x}_2 = 18$, $\sigma_2 = 3,2$. Приймавши $C_{12} = 25$ та $C_{21} = 1$, розраховуємо ймовірність помилкової тривоги, ймовірність пропуску дефекту та будемо графічні образи ймовірності помил-

кової тривоги і пропуску дефекта при щільності розподілу вмісту заліза в робочій рідині для справного D_1 і не справного D_2 станів об'єкта рис. 2.

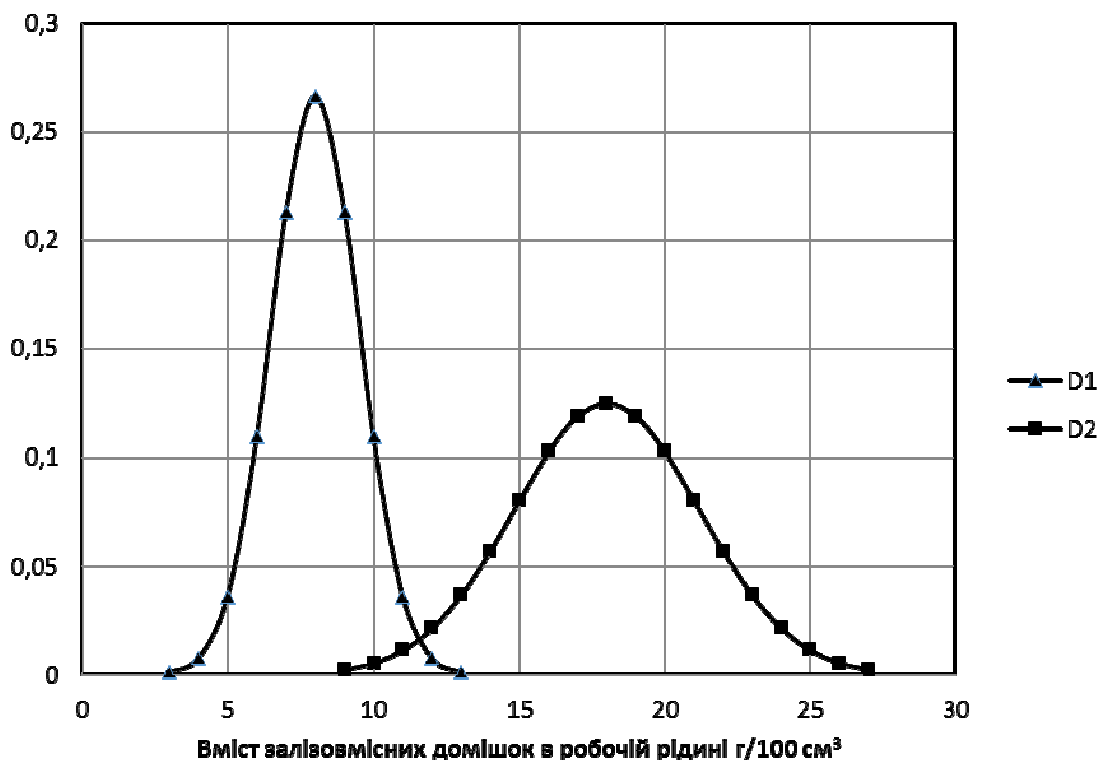


Рисунок 2 – Графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта при щільності розподілу вмісту залізовмісних домішок в робочій рідині

На підставі цих результатів можна зробити висновки, що прийняті вище рішення вірні, оскільки значення $P(H_{21}) = 0,0089$ і $P(H_{12}) = 0,0154$ вкрай малі і, отже, такі чинники, як помилкова тривога і пропуск дефекту, не допущені.

Висновки. Виконані розрахунки дозволяють доволі точно встановлювати граничні величини залізовмісних домішок в робочій рідині системи змащення типу «масло-повітря» і вказують на те, що при перевищенні граничного значення $x_0 = 11$ г, тобто наявності вмісту в робочій рідині залізовмісних домішок більше, ніж 11 на 100 см³, об'єкт слід зупинити на огляд і провести очищення робочої рідини фільтруванням.

Таким чином підтверджено можливість визначення допустимого значення вмісту продуктів зносу у вигляді металевої стружки у системах змащування типу «масло-повітря» за допомогою загальної теорії розпізнавання, а саме методом «мінімальних ризиків», що спрощує сам процес встановлення дати її очищення методом фільтрації, не обтяжуючи його особливо громіздкими формулами та розрахунками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану. *Металургія*. 2017. № 2. С. 126–130.
2. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680. Монография. / [В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путники та ін.]. – Днепропетровск: ИМА–пресс, 2011. – 184 с.
3. Крот П. В., Нижник Н. В. Проблемы разработки износостойких демпфирующих вкладышей для шпинделей листопрокатных станов. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2006. № 13. С. 298–306.
4. Смазка «воздух - масло» для сектора стали и алюминия. www.dropsa.com. URL: <https://www.dropsa.com/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/RU/IDPagina/2401> (дата звернення: 16.02.2022).
5. Учасники проектів Вікімедіа. Мастильна система – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Мастильна_система (дата звернення: 10.05.2021).
6. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков / [В. А. Федорец, М. Н. Педченко, А.Ф. Пичко та ін.]. – К.:Вища шк. Головное издательство, 1987. – 375 с.
7. Сырицын Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов. / Т. А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
8. Вплив параметрів технологічного процесу на коефіцієнт динамічності обладнання / О. М. Гречаний та ін. *Системні технології*. 2021. № 3. С. 3–12. doi: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-134-2021-01>.
9. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем : монографія / Л. М. Мамаєв, О. Д. Романюк, О. В. Нікулін та ін. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 183 с.
10. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. Монография / А. Я. Жук, Г. П. Малышев, Н. К. Желябина, О. М. Клевцов. – Запорожье: ЗГИА, 2008. – 500 с.
11. Белодеденко С. В., Гречаний А. Н., Ибрагимов М. С. Модели «отложенного ремонта» для обслуживания механических систем. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. 2017. Т. 43, № 3. С. 6–13.
12. Малышев Г. П., Гречаний А. Н. Исследование надежности вкладышей шпиндельных устройств стана 1680 ЦХП-1. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. № 5. С. 118–122.
13. ГОСТ 17216-71. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЧИСТОТА. Классы чистоты жидкостей. Чинний від 1973-07-01. Вид. офіц. М. : Издательство стандартов, 1989. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005434>.

14. ISO/FDIS 4406:2017(E). Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. Replaces ISO/TC 131/SC 6 ; effective from 2017-04-27. Official edition. 2017. 6 p.

15. Унікальні системи мембранної фільтрації води. URL: <http://www.eprom.net.ua/doc/masla/Pall%20Триботехническое%20значение%20фільтрації.pdf> (дата звернення: 17.02.2022).

REFERENCE

1. Hrechanyi O. M. Substantiation of the choice of technical parameters of the guillotine shears of the rolling mill. Metallurgy. 2017. No. 2. S. 126-130.

2. Dynamic processes in the stands of the broadband camp 1680. Monograph. / [B. V. Verenev, VI Bolshakov, A. Yu. Putnoki and others]. - Dnepropetrovsk: IMA-press, 2011. - 184 p.

3. Krot P. V., Nizhnik N. V. Problems of development of wear-resistant damping liners for sheet-rolling mill spindles. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 2006. No. 13. P. 298–306.

4. Air-oil lubrication for the steel and aluminum sectors. www.dropsa.com. URL: <https://www.dropsa.com/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/RU/IDPagina/2401> (access date: 16.02.2022).

5. Contributors to Wikimedia projects. Automatic lubrication system - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_lubrication_system (access date: 10.05.2021).

6. Hydraulic drives and hydropneumatics of machine tools / [V. A. Fedorets, M. N. Pedchenko, A. F. Pichko et al.]. - K.: Vishcha school. Head publishing house, 1987. - 375 p.

7. Syritsyn TA Operation and reliability of hydraulic and pneumatic drives: A textbook for university students. / TA Syritsyn. - M.: Mechanical engineering, 1990. - 248 p.

8. Influence of technological process parameters on equipment dynamic factor / O. Hrechanyi et al. System technologies. 2021. Vol. 3, no. 134. P. 3–12. doi: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-134-2021-01>.

9. Research of dynamics, strength and manufacturability of mechanical systems: monograph / LM Mamaev, OD Romanyuk, OV Nikulin and others. - Kamyanske: DSTU, 2017. - 183 p.

10. Technical diagnostics. Monitoring and forecasting. Monograph / A. Ya. Zhuk, G.P. Malyshev, N.K. Zhelyabina, O.M. Klevtsov. - Zaporozhye: ZGIA, 2008. - 500 p.

11. Belodedenko S.V., Hrechanyi O.M., Ibragimov M..S Models of "delayed repair" for maintenance of mechanical systems. Bulletin of railway transport certification. 2017. Т. 43, № 3. P. 6–13.
12. Malyshev G. P., Hrechanyi O.M. Reliability study of inserts for spindle devices of mill 1680 TsKhP-1. Metallurgical and mining industry. 2016. No. 5. P. 118–122.
13. GOST 17216-71. INDUSTRIAL PURITY. Liquid purity classes. Chinniy vid 1973-07-01. View. official M. : Publishing house of standards, 1989. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005434>.
14. ISO/FDIS 4406:2017(E). Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. Replaces ISO/TC 131/SC 6 ; effective from 2017-04-27. Official edition. 2017. 6 p.
15. Unique membrane water filtration systems. URL: <http://www.eprom.net.ua/doc/masla/Pall%20Триботехническое%20значение%20филтрации.pdf> (access date: 17.02.2022).

Received 14.03.2022.

Accepted 17.03.2022.

Using the "minimum risk" method in the technical diagnosis of metallurgical equipment

The difficult operating conditions of metallurgical equipment due to dynamic loads require special attention when designing components in the field of reliability and fail-free operation.

In order to increase the reliability and durability of the spindle drive unit of the rolling stand of the hot rolling mill "1680", it is proposed to switch from "oil mist" type lubrication systems to "oil-air" type systems for bronze liners and bearings of the balancing mechanism.

The oil-air lubrication principle has undeniable advantages in terms of component lubrication, flow distribution, and provides a volumetric flow of oil by injecting air into each bearing of the equipment, guaranteeing an accurate volume at each lubrication point, regardless of bearing back pressure, atmospheric pressure, temperature and oil viscosity.

In order to optimize decision-making when designing new components and parts of metallurgical equipment, the vector of making reliable design decisions is increasingly shifting towards mathematical modeling of production processes and situations that arise during the performance of technological operations.

It has been established that in order to determine the permissible value of the content of wear products in the form of metal shavings, one can use the general theory of recognition, which is an important section of technical cybernetics and deals with the recognition of images of any nature, namely, the "minimal risk" method. Recognition algorithms are partly based on diagnostic models that establish a connection between the state of a technical system and diagnostic signals coming from these systems.

The performed calculations make it possible to accurately establish the limiting values of iron-containing impurities in the working fluid of the "oil-air" lubrication system and indicate that if the limit value $x_0 = 11$ is exceeded, that is, if the content of iron-containing impurities in

the working fluid is more than 11 g per 100 cm³, the object should be stopped for inspection and the working fluid should be cleaned by filtration.

The possibility of determining the permissible value of the content of wear products in the form of metal shavings in "oil-air" lubrication systems using the general theory of recognition, namely the "minimal risks" method, which simplifies the process of setting the date of its cleaning by filtration, without burdening it with especially cumbersome formulas and calculations.

Гречаний Олексій Миколайович - доктор філософії (PhD), ст. викладач, кафедра металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Васильченко Тетяна Олександрівна - к.т.н., доцент, доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Власов Андрій Олександрович - к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Федоренко Степан Володимирович - магістр кафедри обробки металів тиском, Запорізький національний університет.

Синявський Дмитро Анатолійович - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Цегельний Євгеній Сергійович - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Hrechanyi Oleksii - PhD, lecturer, Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vasilchenko Tatiana - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vlasov Andrii - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Fedorenko Stepan - magister Departament of Metal Forming Processing Zaporizhzhia National University.

Syniavskiy Dmytro - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.

Tsehelnyi Yevhenii - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.