

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЛИКІВ ТА ЇХ РЕСУРСУ ВАЖКОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Анотація. У статті розглянуто проблему визначення діагностичних ознак технічного стану роликів важкого стрічкового конвеєра та оцінювання їх ресурсу в умовах гірничого виробництва. Актуальність дослідження зумовлена тим, що відмови роликів є однією з найпоширеніших причин зростання опору руху стрічки, пошкодження стрічкового полотна, перевантаження суміжних роликкоопор і збільшення простоїв транспортної системи. Метою роботи є обґрунтування інформативних діагностичних параметрів, які дозволяють своєчасно виявляти дефектні та нерухомі ролики, а також оцінювати ступінь вичерпання їх ресурсу з урахуванням реальних експлуатаційних навантажень. У роботі проаналізовано основні фактори, що впливають на технічний стан роликів: величину лінійного навантаження, масу і гранулометричний склад вантажу, швидкість транспортування, натяг стрічки, поперечні коливання полотна, ударну дію великих кусків матеріалу та радіальне биття корпуса ролика. На основі розрахункових залежностей показано, що найменш надійним елементом ролика є підшипниковий вузол, ресурс якого визначається сумарною дією статичних, динамічних, ударних і вібраційних навантажень. Запропоновано підхід до оцінювання міри пошкодження підшипника за інтервал часу, що дорівнює повному оберту стрічки конвеєра, а також спосіб виявлення нерухомих роликів на основі порівняння амплітуд інформативних частот вібросигналу еталонної та контрольованих роликкоопор із урахуванням затухання коливань і зміни швидкості руху стрічки. Встановлено, що найбільш інформативними діагностичними ознаками є параметри вібраційного сигналу, амплітудно-частотні характеристики, приріст амплітуди на інформативних частотах, ознаки підвищеного опору обертанню та температурні індикатори перегріву. Практичне значення результатів полягає в можливості використання визначених ознак для побудови систем автоматизованого моніторингу роликів важких стрічкових конвеєрів і прогнозування міжремонтного ресурсу обладнання.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, ролик, роликкоопора, технічний стан, діагностичні ознаки, ресурс, підшипниковий вузол, вібраційна діагностика.

Постановка проблеми.

Надійність важких стрічкових конвеєрів, що працюють у гірничо-металургійному виробництві, значною мірою визначається технічним станом роликів та роликоопор, оскільки саме ці елементи сприймають основні статичні й динамічні навантаження від стрічки та вантажопотоку. В умовах підвищеного запилення, змінної продуктивності, значних швидкостей транспортування і наявності у вантажопотоці крупнокускового матеріалу інтенсивно зношуються підшипникові вузли, ущільнення, вісь і обичайка ролика, що призводить до зростання опору обертанню, підвищення енергоспоживання та погіршення загальної надійності конвеєрної лінії.

Передчасна відмова роликів спричиняє не лише локальне пошкодження вузлів роликоопори, а й створює передумови для прискореного зношування стрічки, появи небезпечних різальних кромek на нерухомих роликах, збільшення аварійних простоїв і витрат на ремонт. Тому визначення діагностичних ознак технічного стану роликів та встановлення закономірностей зміни їх ресурсу під дією експлуатаційних факторів є актуальним науково-практичним завданням, розв'язання якого дає змогу перейти від аварійного обслуговування до технічного обслуговування за фактичним станом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні стрічкові конвеєри великої продуктивності є складними технічними системами безперервної дії, надійність яких значною мірою визначається технічним станом роликоопор.

У роботах [1–3] розглянуто експериментальні підходи до діагностики роликів за параметрами вібраційних і акустичних сигналів. Показано, що зміна спектрального складу сигналу та збільшення рівня середньоквадратичного значення вібрації можуть використовуватися як індикатори розвитку дефектів підшипників. Автори [1] відзначають, що найбільш інформативними є високочастотні складові сигналу, які відображають початкові стадії руйнування елементів підшипника.

Значний розвиток отримали акустичні методи діагностики, які базуються на використанні алгоритмів машинного навчання. У роботах [2, 8] доведено ефективність застосування спектральних ознак та MFCC-параметрів для класифікації технічного стану роликів у складних шумових умовах. Подальше

вдосконалення цих підходів представлено у [9], де використано глибинні нейронні мережі з механізмом самоуваги для автоматичного виділення інформативних характеристик сигналу.

Окремий напрям досліджень присвячений використанню температурних параметрів як діагностичних ознак. У роботах [5, 12] показано, що локальне підвищення температури ролика або підшипникового вузла є надійним індикатором зростання опору обертанню. Застосування тепловізійних систем дозволяє здійснювати безконтактний моніторинг великої кількості роликів у реальному часі. У дослідженні [4] запропоновано комбінований підхід, що поєднує акустичні та теплові ознаки, що дозволяє підвищити достовірність визначення несправностей.

У роботі [6] розглянуто непрямий метод діагностики, який базується на аналізі поперечних коливань стрічки. Такий підхід дозволяє зменшити кількість необхідних сенсорів і може бути ефективним для протяжних конвеєрних трас. Автори [7] відзначають перспективність прогнозування технічного стану роликів за допомогою моделей машинного навчання, які враховують багатовимірні параметри сигналів.

Дослідження [10–13] спрямовані на створення мультисенсорних систем моніторингу, що поєднують вібраційні, акустичні та температурні параметри. Зокрема, у [11] запропоновано систему визначення заклинювання роликів на основі комплексного аналізу сигналів різної фізичної природи. У роботах [13, 15] розглянуто концепцію автономних вузлів моніторингу, здатних здійснювати локальну обробку даних та передавати результати у систему керування.

Сучасні тенденції розвитку діагностики роликів пов’язані із застосуванням технологій комп’ютерного зору та роботизованих інспекційних систем. У роботах [14–17] показано можливість використання глибинних нейронних мереж для автоматичного виявлення дефектів роликів за відеоданими, а також використання мобільних роботизованих платформ для регулярного моніторингу стану конвеєрних систем.

Разом з тим аналіз літературних джерел показує, що більшість досліджень виконано для лабораторних умов або окремих типів сигналів. Недостатньо уваги приділено визначенню узагальненого набору діагностичних ознак,

адаптованого до умов експлуатації важких стрічкових конвеєрів гірничих підприємств, що характеризуються високим рівнем шуму та динамічних навантажень. Це зумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на обґрунтування інформативних параметрів діагностики роликів і створення ефективних систем автоматизованого моніторингу.

Мета дослідження. Метою роботи є визначення інформативних діагностичних ознак технічного стану роликів важкого стрічкового конвеєра та обґрунтування підходу до оцінювання їх ресурсу з урахуванням реальних умов експлуатації. Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати вплив лінійного навантаження, швидкості транспортування, натягу стрічки, гранулометричного складу вантажу, ударної дії крупних кусків і радіального биття корпусу на навантаження підшипникових вузлів; встановити найбільш інформативні параметри, за якими можна ідентифікувати справний, передаварійний і несправний стани роликів; обґрунтувати використання міри пошкодження для оцінювання напрацювання та залишкового ресурсу; а також сформулювати підхід до своєчасного виявлення нерухомих роликів у складі конвеєрного става.

Викладення основного матеріалу дослідження. Під відмовою ролика в загальному випадку слід розуміти вихід з ладу осі, підшипників, ущільнень і корпусу, за якого номінальний момент ролика збільшується у два рази і більше.

Несправний ролик характеризується підвищеним шумом у вигляді стукоту та різких періодичних звуків високої частоти. Якщо сили тертя у підшипникових вузлах стають значними, обичайки роликів перестають обертатися і швидко зношуються під дією рухомої стрічки. За відсутності своєчасної заміни такого ролика на його корпусі утворюються гострі різальні кромки, які можуть глибоко, а інколи й наскрізь, пошкоджувати стрічку. Технічний стан роликів залежить не лише від точності виготовлення та монтажу, а й від умов експлуатації. Найбільший вплив мають величина завантаження конвеєрного полотна і гранулометричний склад вантажу. Зі збільшенням заповнення конвеєрної стрічки матеріалом розкид навантаження на підшипникові вузли роликів зменшується, тоді як поява у вантажопотоці великих кусків призводить до зростання навантаження на ролики.

На кожну роликову секцію конвеєра діє навантаження, створюване транспортованим матеріалом, яке дорівнює:

$$P_g = q_l \cdot a_p,$$

де q_l – лінійне навантаження на стрічці конвеєра, Н/м; a_p – відстань між роликоопорами, м. Навантаження на бічні ролики є меншим, ніж на середній ролик.

Навантаження на опорний ролик визначають за залежністю:

$$P = 0,6 \cdot (P_g + a_p P_l) + P_T,$$

де P_l – лінійна вага стрічки, Н/м; P_T – вага обертових частин несучого ролика, Н.

Аналіз наведених залежностей між навантаженням і технічним станом роликів показав, що найменш надійним елементом є підшипникові вузли, передусім верхні, які навіть за невеликої завантаженості виходять з ладу швидше. На їх працездатність суттєво впливають циклічні навантаження, спричинені вигином осі ролика під навантаженням, особливо за наявності у вантажопотоці великих кусків при малій кількості підсипки. Під час взаємодії такого куска з роликом виникає імпульсна та ударна дія. Імпульсна взаємодія полягає у зміні характеру дії куска в момент входу на ролик: розподілене навантаження переходить у зосереджене на площі виступу куска. Саме різниця деформацій визначає динаміку взаємодії куска з роликом. Ударна взаємодія виникає через неспівпадіння векторів швидкості куска і стрічки під час підходу до роликів. Вираз для розрахунку величини імпульсного удару окремим куском по ролику має вигляд [18]:

$$P_k = m_k \cdot V^2 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) \cdot (1 + k_1) a^{-1},$$

де m_k – маса куска, кг; V – швидкість руху стрічки, м/с; θ_1 – кут нахилу дотичної до кривої прогину в точці набігання стрічки на ролик відносно осі Х, град; θ_2 – кут між напрямком швидкості куска після удару об ролик і віссю Х, град; k_1 – коефіцієнт відновлення при ударі об жорстку роликоопору ($k=0,5$); a – довжина поверхні дотику куска з роликом під час удару, м.

Крім того, на ролики додатково діє навантаження від поперечних коливань стрічки з вантажем, яке визначають із виразу:

тут q_n – сумарне навантаження провисаючих ділянок стрічки між сусідніми роликоопорами, Н/м; l_n – довжина полотна у прольоті, м;

$$k_{k1} = 1 + h(3h_0)^{-1}; \quad k_{k2} = 32E_0 \left(9l_{\pi}l_p^2 \right)^{-1} \cdot (h + h_0)^2 \cdot (h^2 - h_0^2),$$

де h_0 – стріла провисання полотна стрічки в середині прольоту, м; E_0 – поздовжня жорсткість тягового органу, МПа.

Істотний вплив на навантаження підшипникових вузлів роликів справляє також радіальне биття, зумовлене різностінністю корпуса (обичайки). Додаткові навантаження, спричинені такою різностінністю, можуть досягати значних величин і бути співмірними з вагою самого ролика та транспортованого вантажу.

Отже, повне радіальне навантаження на підшипники роликів у процесі експлуатації визначається як сума таких складових:

$$P_{\Pi} = Q_{cm} + Q_o + q\omega \cos\omega_y t_p,$$

тут $Q_{ct} = q_p + q_l + q_z + q_y$ – радіальне навантаження від ваги ролика, стрічки, вантажу та неправильної установки за висотою; $Q_d = P_k + P_{кол}$; P_k – динамічне навантаження від вантажопотоку і стрічки.

Залежність навантаження на середній ролик роликоопори від величини лінійного навантаження конвеєра за зміни швидкості транспортування та натягу стрічки наведено на рис. 1 [19].

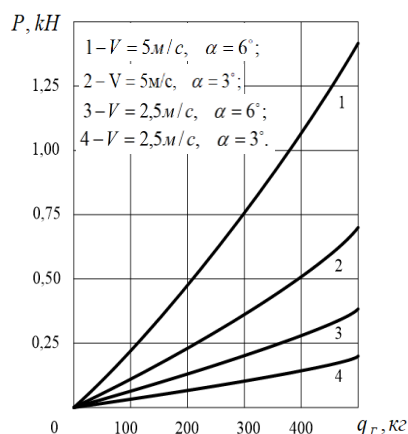


Рисунок 1 - Залежність навантаження на середній ролик роликоопори від величини лінійного навантаження за зміни швидкості транспортування і натягу стрічки

Залежність додаткового навантаження, зумовленого великими кусками матеріалу та биттям корпусу, на підшипники від швидкості транспортування за різної різностінності корпусу ролика наведено на рис. 2 [19].

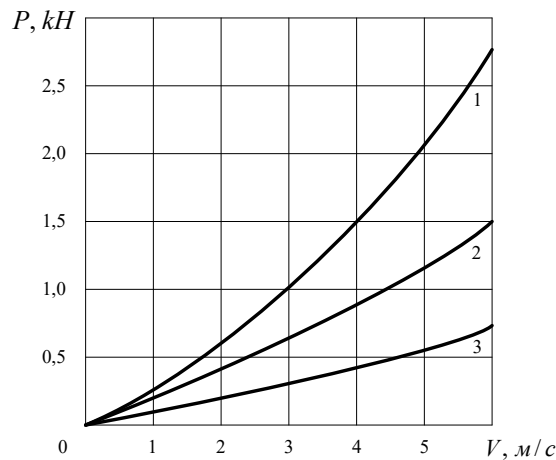


Рисунок 2 - Залежність додаткового навантаження від великих кусків і биття корпусу на підшипники від швидкості транспортування при різній різностінності корпусу ролика: 1 – 0,25 мм; 2 – 0,15 мм; 3 – 0,05 мм.

Оцінювання ступеня пошкодження підшипника ролика доцільно виконувати за допомогою міри пошкодження. При цьому міру пошкодження підшипника визначають за інтервал часу, що дорівнює повному оберту стрічки конвеєра, за припущень, прийнятих раніше під час розрахунку зношування конвеєрної стрічки. Отже, міра пошкодження підшипника ролика за один повний оберт стрічки дорівнює:

$$\Delta\varphi_i = n_i (k_1 \cdot k_2 \cdot P_{\Pi} \cdot z^{-1})^3 \cdot C^{-3},$$

де n_i — частота обертання ролика на i -му циклі, хв^{-1} ; C — стала працездатності підшипника, що залежить від конструкції, внутрішніх розмірів і якості матеріалу підшипника; P_{Π} — навантаження на опорний ролик, Н; z — кількість підшипників у ролику; k_1 — коефіцієнт, що враховує, чи обертається внутрішнє ($k_1 = 1,1$) або зовнішнє ($k_1 = 1,45$) кільце підшипника; k_2 — коефіцієнт, який характеризує температурний режим роботи підшипника. Частоту обертання ролика визначають за залежністю:

$$n_i = V_i \cdot 60 \cdot (\pi d)^{-1},$$

де V_i — швидкість руху стрічки, м/с; d — діаметр роликів, м.

Окрім визначення працездатності роликів стрічкового конвеєра та оцінювання його технічного стану, важливе значення має своєчасне виявлення

нерухомих, тобто вже несправних, роликів. Розроблено спосіб виявлення нерухомих роликів.

Суть способу полягає в реєстрації змін сигналу, який випромінюється еталонною ділянкою става конвеєра, порівняно з контрольною ділянкою. При цьому вимірюють вібрацію конвеєрного става на холостому ході та під час транспортування контрольної порції вантажу, а реєстрацію сигналів починають у момент проходження вантажем еталонної роликкоопори. Далі виконують стробування вібросигналу, виділяючи часові ділянки, що відповідають проходженню вантажу через кожну наступну роликкоопору, і здійснюють спектральний аналіз сигналу. Із частотного спектра виокремлюють інформативні частоти. У разі перевищення допустимого значення приросту амплітуди інформативної частоти за модулем роблять висновок про несправність, причому номер несправної роликкоопори відповідає номеру аналізованої стробованої ділянки.

Урахування зміни швидкості транспортування здійснюють шляхом стробування віброграми через мірні проміжки часу, що дорівнюють часу проходження вантажу від однієї роликкоопори до іншої. Це дає змогу підвищити надійність діагностування несправних роликів.

Застосування запропонованого способу дає змогу підвищити надійність і довговічність механічного обладнання конвеєра, опорних конструкцій і стрічки, оскільки за своєчасної заміни та ремонту несправних роликів не перевантажуються сусідні роликкоопори, не виникають додаткові вібрації, тобто загальні умови експлуатації поліпшуються. Завдяки оперативному виявленню несправних роликів скорочується тривалість простоїв, пов'язаних із ремонтом.

Ресурс роликів і роликкоопор найбільшою мірою залежить від гранулометричного складу матеріалу, кількості матеріалу на стрічці, швидкості транспортування та величини натягу. Особливо істотним є вплив наявності у вантажопотоці великих кусків матеріалу, які створюють ударну дію на підшипники роликів. Величина пошкодження визначається розміром куска і характеризується мірою пошкодження $\Delta\varphi_{ki}$. За наявності інформації про гранулометричний склад вантажопотоку величину впливу можна поділити на кілька рівнів і сумувати міри пошкодження відповідно до кожного рівня, тобто

залежно від маси куска. Алгоритм визначення середнього використаного ресурсу роликів наведено на рис. 3.

Наведений алгоритм можна використовувати для визначення міжремонтних ресурсів обладнання.

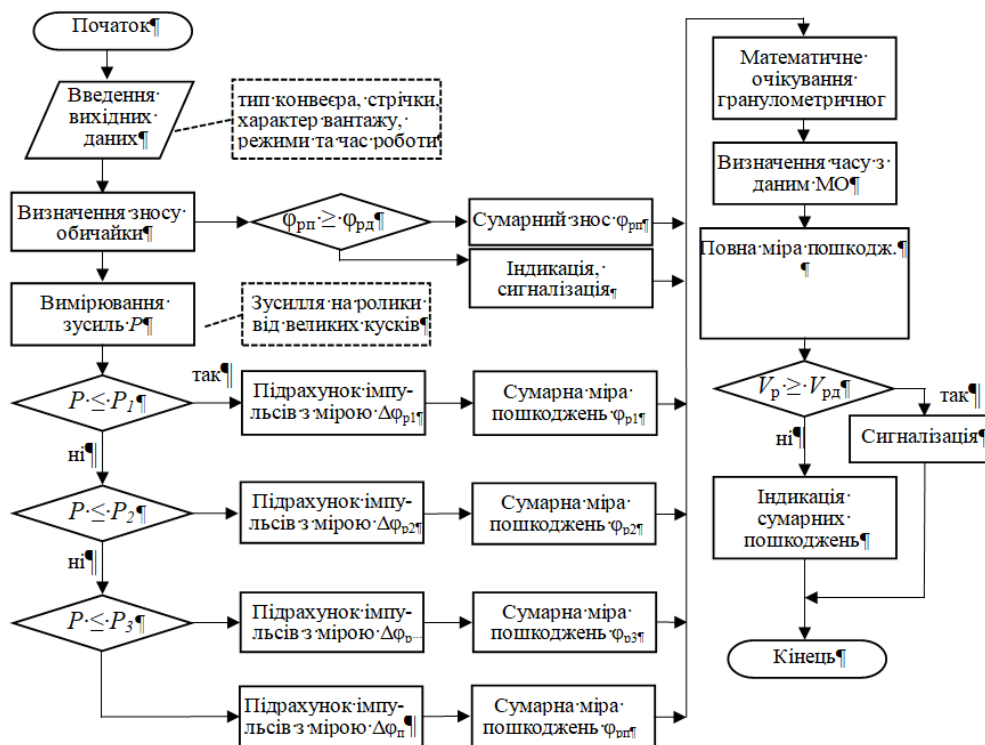


Рисунок 3 - Алгоритм визначення середнього використаного ресурсу роликів

Висновки. У роботі встановлено, що технічний стан роликів важкого стрічкового конвеєра визначається сукупною дією експлуатаційних навантажень, серед яких найбільш суттєвими є лінійне навантаження на стрічку, швидкість транспортування, натяг стрічки, гранулометричний склад матеріалу, ударна дія великих кусків та радіальне биття корпусу ролика. Найбільш уразливими елементами конструкції є підшипникові вузли, ресурс яких істотно зменшується за зростання динамічних і ударних навантажень.

Показано, що інформативними діагностичними ознаками технічного стану роликів можуть бути параметри вібраційних сигналів, амплітудно-частотні характеристики, підвищення шуму, поява ударних складових, збільшення моменту опору обертанню, локальне зростання температури та розрахункові значення навантаження на підшипники. Використання міри пошкодження підшипника дозволяє кількісно оцінювати ступінь використання

ресурсу ролика й формувати основу для прогнозування міжремонтного періоду.

Практичне застосування отриманих результатів сприятиме зменшенню аварійних зупинок конвеєра, зниженню витрат на ремонт, підвищенню довговічності стрічки та механічного обладнання, а також переходу до системи технічного обслуговування за станом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Liu X., Pang Y., Lodewijks G. Experimental research on condition monitoring of belt conveyor idlers. *Measurement*. 2018. Vol. 125. P. 277-282. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.04.066.
2. Liu X., Chen H., Zhang Y. Acoustic signal based fault detection on belt conveyor idlers using machine learning. *Applied Acoustics*. 2020. Vol. 162. DOI: 10.1016/j.apacoust.2020.107218.
3. Skoczylas A., Bortnowski P., Król R. Belt conveyors rollers diagnostics based on acoustic signal collected using autonomous legged inspection robot. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, №. 5. DOI: 10.3390/app11052299.
4. Liu Y., Miao C., Li X., Ji J. Research on the fault analysis method of belt conveyor idlers based on sound and thermal infrared image features. *Measurement*. 2021. Vol. 179. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.110177.
5. Siami M., Barszcz T., Wodecki J., Zimroz R. Automated Identification of Overheated Belt Conveyor Idlers in Thermal Images with Complex Backgrounds Using Binary Classification with CNN. *Sensors*. 2022. Vol. 22, №. 24. DOI: 10.3390/s22241000.
6. Bortnowski P., Król R., Ozdoba M. Roller damage detection method based on transverse vibrations of the conveyor belt. *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 2022. Vol. 24, №. 3. DOI: 10.17531/ein.2022.3.12.
7. Kaur A., Altaf S., Iqbal S. Predictive Framework of Conveyor Idler Bearings Fault Monitoring using Efficient Signal Processing Technique. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2022. Vol. 15, №. 4, P 154-165. DOI: 10.25103/jestr.154.22
8. A Brief Review of Acoustic and Vibration Signal-Based Fault Detection for Belt Conveyor Idlers Using Machine Learning Models / F. Alharbi et al. *Sensors*. 2023. Vol. 23(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/s23041902>
9. Liu Y., Miao C., Li X., Ji J. A Dynamic Self-Attention-Based Fault Diagnosis Method for Belt Conveyor Idlers. *Machines*. 2023. Vol. 11, №. 2. DOI: 10.3390/machines11020216.
10. Alharbi F., Luo S. A Review of Fault Detecting Devices for Belt Conveyor Idlers. *Journal of Mechatronic Systems*. 2024. Vol. 8 (1) : 39. DOI: 10.17977/um016v8i12024p039
11. Shin K.S., Nam Y., Suh Young-Joo Designing a Multivariate Belt Conveyor Idler Stall Detection and Identification System with Scalability Analysis. *Sensors*. 2024. Vol. 24 (24). DOI: <https://doi.org/10.3390/s24247989>.
12. Xiuyu Y., Liyong T., Feng C. Thermal infrared imaging for conveyor roller fault detection in coal mines. *PLoS ONE*. 2024. Vol. 19, №. 7. DOI: 10.1371/journal.pone.0307591.
13. A New Embedded Condition Monitoring Node for the Idler Roller of Belt conveyor / P.Zhou et al. *IEEE Sensors Journal*. 2024. DOI: 10.1109/JSEN.2024.3363905.
14. Li X.LiXin., Liu Z., Wang X. Deep learning based belt conveyor idler fault detection research. *Conference: TTAE 2024*. 2024. DOI: 10.1117/12.3055375.

15. Designing and optimizing an intelligent self-powered condition monitoring system for mining belt conveyor idlers and its application / X. Jiao et al. *Applied Mathematics and Mechanics*. 2025. Vol. 46, p. 1679–1698. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10483-025-3291-6>.
16. A fault diagnosis method for conveyor belt idlers based on ISVD-TFRE and Doppler-distorted sound signal / F. Jiang et al. *Measurement*. 2026. Vol. 257, Part D. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.118910>.
17. An Integrated Inspection System for Belt Conveyor Rollers. Advancing in an Enterprise Architecture / R. Nascimento et al. *Proceedings of the 19th International Conference on Enterprise Information Systems*. Portugal. 2017. Vol. 2. DOI: 10.5220/0006369101900200.
18. Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Визначення навантаження на став автоматизованого конвеєра від швидкості транспортування. *Гірничий вісник*, Вип. 104, 2018. с. 173-178. DOI: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-173-178.
19. Лобов В.Й., Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Рубан С.А. Автоматизовані системи керування конвеєрними установками : монографія. Кривий Ріг : Вид. центр ДВНЗ «КНУ», 2015. 450с.

Received 18.03.2026.

Accepted 13.04.2026.

Published 30.04.2026

UDC 622.647.2:681.518.54

Mykhailo Tykhanskyi, Antonina Tykhanska, Ihor Kurhanov

**DETERMINATION OF DIAGNOSTIC INDICATORS OF THE TECHNICAL
CONDITION OF IDLERS AND THEIR SERVICE LIFE IN
A HEAVY BELT CONVEYOR**

Abstract. *The article addresses the problem of determining diagnostic indicators of the technical condition of idlers of a heavy belt conveyor and estimating their service life under mining conditions. The relevance of the study is due to the fact that idler failures are among the most common causes of increased belt motion resistance, damage to the conveyor belt, overload of adjacent idler supports, and downtime of the transport system. The aim of the paper is to substantiate informative diagnostic parameters that make it possible to detect defective and jammed idlers in a timely manner and to assess the degree of their service life depletion with regard to actual operating loads. The study analyses the main factors influencing idler condition, namely linear load, mass and particle-size composition of the bulk material, conveying speed, belt tension, transverse belt oscillations, impact action of large lumps of material, and radial runout of the idler shell. Based on the derived relationships, it is shown that the least reliable element of the idler is the bearing assembly, whose service life is determined by the combined effect of static, dynamic, shock, and vibration loads. An approach to estimating the bearing damage measure over a time interval equal to one full revolution of the conveyor belt is*

proposed, as well as a method for detecting jammed idlers by comparing the amplitudes of informative frequencies in the vibration signal of a reference support and the monitored supports while taking into account oscillation attenuation and changes in belt speed. It is established that the most informative diagnostic indicators are vibration signal parameters, amplitude-frequency characteristics, amplitude growth at informative frequencies, increased rotation resistance, and thermal overheating indicators. The practical value of the results lies in the possibility of using the determined indicators to build automated condition monitoring systems for idlers of heavy belt conveyors and to predict the maintenance interval and service life of the equipment.

Keywords: *belt conveyor, idler, idler support, technical condition, diagnostic indicators, service life, bearing assembly, vibration diagnostics.*

REFERENCES

1. Liu, X., Pang, Y., & Lodewijks, G. (2018). Experimental research on condition monitoring of belt conveyor idlers. *Measurement*, 125, 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.04.066>
2. Liu, X., Chen, H., & Zhang, Y. (2020). Acoustic signal based fault detection on belt conveyor idlers using machine learning. *Applied Acoustics*, 162, 107218. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107218>
3. Skoczylas, A., Bortnowski, P., & Król, R. (2021). Belt conveyors rollers diagnostics based on acoustic signal collected using autonomous legged inspection robot. *Applied Sciences*, 11(5), 2299. <https://doi.org/10.3390/app11052299>
4. Liu, Y., Miao, C., Li, X., & Ji, J. (2021). Research on the fault analysis method of belt conveyor idlers based on sound and thermal infrared image features. *Measurement*, 179, 110177. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110177>
5. Siami, M., Barszcz, T., Wodecki, J., & Zimroz, R. (2022). Automated identification of overheated belt conveyor idlers in thermal images with complex backgrounds using binary classification with CNN. *Sensors*, 22(24), 1000. <https://doi.org/10.3390/s22241000>
6. Bortnowski, P., Król, R., & Ozdoba, M. (2022). Roller damage detection method based on transverse vibrations of the conveyor belt. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 24(3), 503–510. <https://doi.org/10.17531/ein.2022.3.12>
7. Kaur, A., Altaf, S., & Iqbal, S. (2022). Predictive framework of conveyor idler bearings fault monitoring using efficient signal processing technique. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 15(4), 154–165. <https://doi.org/10.25103/jestr.154.22>
8. Alharbi, F., et al. (2023). A brief review of acoustic and vibration signal-based fault detection for belt conveyor idlers using machine learning models. *Sensors*, 23(4), 1902. <https://doi.org/10.3390/s23041902>
9. Liu, Y., Miao, C., Li, X., & Ji, J. (2023). A dynamic self-attention-based fault diagnosis method for belt conveyor idlers. *Machines*, 11(2), 216. <https://doi.org/10.3390/machines11020216>
10. Alharbi, F., & Luo, S. (2024). A review of fault detecting devices for belt conveyor idlers. *Journal of Mechatronic Systems*, 8(1), 39. <https://doi.org/10.17977/um016v8i12024p039>
11. Shin, K. S., Nam, Y., & Suh, Y.-J. (2024). Designing a multivariate belt conveyor idler stall detection and identification system with scalability analysis. *Sensors*, 24(24), 7989. <https://doi.org/10.3390/s24247989>
12. Xiuyu, Y., Liyong, T., & Feng, C. (2024). Thermal infrared imaging for conveyor roller fault detection in coal mines. *PLoS ONE*, 19(7), e0307591. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307591>
13. Zhou, P., et al. (2024). A new embedded condition monitoring node for the idler roller of belt conveyor. *IEEE Sensors Journal*. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3363905>

14. Li, X., Liu, Z., & Wang, X. (2024). Deep learning based belt conveyor idler fault detection research. Proceedings of TTAЕ 2024. <https://doi.org/10.1117/12.3055375>
15. Jiao, X., et al. (2025). Designing and optimizing an intelligent self-powered condition monitoring system for mining belt conveyor idlers and its application. Applied Mathematics and Mechanics, 46, 1679–1698. <https://doi.org/10.1007/s10483-025-3291-6>
16. Jiang, F., et al. (2026). A fault diagnosis method for conveyor belt idlers based on ISVD-TFRE and Doppler-distorted sound signal. Measurement, 257(Part D). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.118910>
17. Nascimento, R., et al. (2017). An integrated inspection system for belt conveyor rollers: Advancing in an enterprise architecture. Proceedings of the 19th International Conference on Enterprise Information Systems, 2, 190–200. <https://doi.org/10.5220/0006369101900200>
18. Efimenko, L. I., Tykhanskyi, M. P., & Tykhanska, A. M. (2018). Vyznachennia navantazhennia na stav avtomatyzovanoho konveiera vid shvydkosti transportuvannia [Determination of the load on the automated conveyor stand from the transportation speed]. Hirnychi Visnyk, (104), 173–178. <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2018-1-104-173-178>
19. Lobov, V. Y., Efimenko, L. I., Tykhanskyi, M. P., & Ruban, S. A. (2015). Avtomatyzovani systemy keruvannia konveiernymy ustanovkamy [Automated control systems for conveyor installations]. KNU Publishing Center.

Тиханський Михайло Петрович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету, Кривий Ріг, Україна. <https://orcid.org/0000-0002-1168-4677>

Тиханська Антоніна Миколаївна - старший викладач кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету, Кривий Ріг, Україна. <https://orcid.org/0009-0006-0714-1916>

Курганов Ігор Дмитрович - кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету, Кривий Ріг, Україна. <https://orcid.org/0009-0000-9916-183X>

Tykhanskyi Mykhailo Petrovych – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation, Computer Science and Technologies, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0002-1168-4677>

Tykhanska Antonina Mykolaivna – Senior Lecturer of the Department of Automation, Computer Science and Technologies, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine. <https://orcid.org/0009-0006-0714-1916>

Kurhanov Ihor Dmytrovych – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Automation, Computer Science and Technologies, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine. <https://orcid.org/0009-0000-9916-183X>