

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОНВЕЄРНОЇ УСТАНОВКИ

Мета. Підвищення економічної ефективності експлуатації стрічкового конвеєра за рахунок застосування надійних і високоефективних засобів діагностування технічного стану і прогнозування ресурсу роботи обладнання установки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи вимірювання і оцінка динамічних навантажень; методи діагностики ушкоджень; експериментальні дослідження впливу навантажень на технічний стан обладнання; методи розроблені в механіці; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики.

Наукова новизна. Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування.

У зв'язку з цим, автори досліджують стрічковий конвеєр як об'єкт діагностування з урахуванням наявності системи автоматичного керування режимами роботи установки, розробити прогресивні і технічно реалізуємі способи і пристрої, на базі яких сформульовано принципи автоматизованої системи діагностики та прогнозування.

Практична значимість. Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування. Економічна ефективність застосування автоматизованої системи діагностики і прогнозування ресурсу досягається за рахунок таких факторів як збільшення середнього часу між ремонтами, зростання продуктивності об'єкта обслуговування та зниження витрат на технічне обслуговування, фактичне усунення несподіваних поломок, підвищення надійності і продуктивності, усунення вторинних поломок, зменшення тривалості ремонтів. Це призводить до підвищення коефіцієнта готовності на $0,015 \div 0,02$ і коефіцієнта використання на $0,02 \div 0,03$.

Результати. У роботі показано, що діагностування технічного стану стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом, прогнозування його залишкового ресурсу й створення автоматизованої системи діагностики та прогнозування працездатності конвеєрної установки припускає розробку узагальненої моделі технічного стану і діагностування, що враховує наявність регульованого приводу й можливості впливу на режими експлуатації установки.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, технічний стан, працездатність, діагностування, прогнозування, регульований привод, автоматична система керування.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-160-164

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Ефективність роботи конвеєрних установок залежить від великої кількості чинників, серед яких працездатність має надзвичайне значення. Застосування спеціальних заходів, а саме, визначення технічного стану механізмів конвеєра, може ще більше підвищити ефективність роботи конвеєрного транспорту, зокрема, покращити показники надійності, такі як: коефіцієнт готовності та коефіцієнт технічного використання. В даний час відомо, що вони відповідно становлять $0,85 \div 0,96$ і $0,63 \div 0,67$ [2].

Відомо, що для підвищення загального коефіцієнта готовності конвеєрної установки необхідно скоротити час відновлення і працездатності, а для підвищення коефіцієнта технічного використання - виключення часу на позапланове технічне обслуговування. А це може бути досягнуто за рахунок застосування надійних і високоефективних засобів діагностування технічного стану і прогнозування ресурсу роботи обладнання.

Аналіз роботи стрічкових конвеєрів, виконаний у ВО "Кривбасруда" показав, що близько 80% часу всіх простоїв у робочі зміни приходиться на ліквідацію відмов таких основних елементів конвеєра, як стрічка, електрообладнання, ролики, редуктор і барабани. Отже, ці елементи потребують постійного діагностування та прогнозування їх ресурсу.

Прогнозування потреби конвеєрного обладнання у ремонті дозволяє запобігти аварійних ситуацій, подовжити працездатність установки за рахунок зміни режимів роботи, підготуватися до поточного ремонту і виконати ремонт у запланований термін.

Аналіз досліджень та публікацій. Проведений аналіз наукових публікацій та досліджень, виконаних вітчизняними вченими [1-3,5,7] показав, що існуючі методи діагностування технічного стану та прогнозування працездатності конвеєрної установки недостатньо ефективні. Багато які з них вимагають зупинки устаткування на огляд, дослідження, що передбачає також часткову його розбірку. Методи діагностики, що застосовуються в авіаційній, суднобудівній та

нафтохімічної промисловості, мають високу ефективність і надійність. Однак, через складність використання, високу вартість та порушення працездатності у важких умовах гірничо-здобувачих підприємств, ці методи не доцільно використовувати для конвеєрних установок.

Нові можливості в роботі і застосуванні системи діагностики та прогнозування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування [9,10,14].

У зв'язку з цим, нарізла необхідність повніше дослідити стрічковий конвеєр як об'єкт діагностування, розробити прогресивні і технічно реалізуємі способи і пристрої, на базі яких сформувати принципи автоматизованої системи діагностики та прогнозування. Економічна ефективність застосування автоматизованої системи діагностики і прогнозування ресурсу досягається за рахунок таких факторів як збільшення середнього часу між ремонтами, зростання продуктивності об'єкта обслуговування та зниження витрат на технічне обслуговування, фактичне усунення несподіваних відмов елементів обладнання, підвищення надійності і продуктивності, усунення вторинних поломок, зменшення тривалості ремонтів. Це призводить до підвищення коефіцієнта готовності на $0,015 \div 0,02$ і коефіцієнта використання на $0,02 \div 0,03$.

Постановка завдання. Таким чином, з аналізу розглянутих наукових публікацій видно, що прогнозування працездатності конвеєрної установки за рахунок створення автоматизованої системи діагностики та прогнозування технічного стану механізмів конвеєра і узгодження її роботи з автоматичною системою управління режимами транспортування є актуальним завданням.

Викладення матеріалу та результати. Для прогнозування зміни технічного стану вузла конвеєрного агрегату необхідно знати закономірність зміни критерію стану залежно від режимів транспортування і результати діагностування при зміні режимів при наявності системи автоматичного керування та прогнозування.

Технічний стан стрічкового конвеєра багато в чому залежить від справності роликів, що підтримують тяговий орган (стрічку). Ролики є найбільш численними елементом конвеєра, вихід з ладу 10-15% від їх загальної кількості значно підвищує енергоємність транспортування матеріалу, збільшує швидкість зносу верхньої і нижньої обкладок стрічки, погіршує умови експлуатації опорних конструкцій конвеєра (ролікоопор), оскільки стрічка при зустрічі з роликом, що не крутиться, надає ролікоопорі додаткове динамічне навантаження [8,10,15].

За даними УкрНІПроекта, отриманим на підприємствах вугільної та інших галузях гірничодобувної промисловості, вартість технічного обслуговування і ремонту роликів складає 28% всіх експлуатаційних витрат на стрічкові конвеєри. Фактичний ресурс роликів складає від 4 місяців до 2 років залежно від умов експлуатації та характеристик транспортується матеріалу. Несправний ролик видає підвищений шум у вигляді постукування, різких звуків періодичних підвищеної частоти. Коли сили тертя в підшипникових вузлах досягають значної величини, обичайки роликів перестають обертатися і дуже швидко зношуються рушійною стрічкою. Якщо зупинившийся ролик вчасно не замінити, на його корпусі утворюються гострі ріжучі кромки. Від них на стрічці виникають глибокі порізи. На потужних стрічкових конвеєрах великої протяжності контроль за станом роликів набуває особливого значення.

Під відмовою ролика в загальному випадку розуміється вихід з ладу осі, підшипників, ущільнень і корпусу, при цьому номінальний момент ролика збільшується в два і більше разів. Інтенсивність відмови для роликів

$$\lambda_p = \lambda_k + \lambda_o + \lambda_{nl} + \lambda_{nn} + \lambda_{yl} + \lambda_{yn},$$

де $\lambda_p, \lambda_k, \lambda_o, \lambda_{nl}, \lambda_{nn}, \lambda_{yl}, \lambda_{yn}$ – інтенсивність відмови відповідно корпусу, осі, лівого і правого підшипників, лівого і правого ущільнень.

Інтенсивність відмови усіх роликів конвеєра

$$\lambda = \sum n_p \lambda_{ps} + \sum (n_p/4) \lambda_{pn},$$

де $\lambda_{ps}, \lambda_{pn}$ – інтенсивність відмови відповідно роликів верхньої та нижньої гілок стрічки; n_p – кількість роликів верхньої гілки.

Завданням діагностики технічного стану роликів конвеєра, що експлуатують, є виявлення безпосередньо несправних роликів, а також їх місце розташування. Довговічність роликів стрічкових конвеєрів визначається величиною навантаження на окремі елементи роликів і точністю їх взаємної пригін, а також ефективністю дії ущільнень між взаємно-переміщуються елементами і якістю застосованої мастила.

Виділяються наступні основні ознаки ушкоджень ролика:

- 1 - пошкодження оболонки ролика;
- 2 - пошкодження підшипника кочення / або ковзання /;
- 3-пошкодження обичайки ролика;
- 4-пошкодження з'єднувальних поверхонь окремих елементів;
- 5 - пошкодження ущільнювальних прокладок
- 6 - пошкодження осей роликів;
- 7 - пошкодження опорних шийок;
- 8 - пошкодження підшипникових обойм.

Елементи опорних роликів можуть зазнавати пошкоджень як внаслідок зносу і тривалих навантажень, так і в результаті окремих силових впливів. На строк служби підшипникових вузлів істотно впливають циклічні навантаження, викликані вигином осі ролика при навантаженні і радіальним биттям при різностінності корпусу. При значенні неврівноваженою відцентрової сили, близької до статичного навантаження, з'являється знос шийок осей і підшипників.

Пошкодження роликів стрічкового конвеєра можна розділити на два види:

- 1) пошкодження викликані природним зносом елементів ролика;
- 2) пошкодження викликані внаслідок несправності окремих елементів конвеєра (вторинні поломки).

Основна причина передчасної відмови роликів - заклинювання підшипників через порушення роботи ущільнень, які зношуються в результаті попадання в підшипник атмосферних опадів, агресивного середовища, абразивних частинок транспортованого вантажу. У середньому 66% відмов роликів припадає на засмічення підшипників пилом і потрапляння в них вологи. Для роликів з кульковими підшипниками характерно збільшення кільцевих зазорів, а для роликів з конічними підшипниками - збільшення люфтів. Основними причинами виходу з ладу підшипників кочення при природному зносі є порушення жолобів, кілець і елементів кочення, що виникають від втоми матеріалу, а також знос робочих поверхонь.

Руйнування окремих елементів підшипника викликає зміну параметрів вібрації, підвищення температури, порушення робочої функції (тобто не обертання), опускання ролика щодо нормального положення. Всі ці відхилення від нормального технічного стану характеризуються відповідними діагностичними ознаками.

Аналіз діагностичних ознак технічного стану роликів, методів їх визначення, а також завдань, поставлених вище, дозволив виділити як найбільш надійний і точний – температурний метод.

При цьому діагностика несучих роликів стрічкового конвеєра здійснюється різними методами, основними з яких є використання теплових чи індуктивних датчиків з феромагнітних сплавів, які монтується в стрічку, а також реалізація температурного контролю в запобіжній системі конвеєра.

Створення автоматизованої системи діагностики технічного стану устаткування стрічкового конвеєра з регульованим приводом викликало необхідність розробки нових способів діагностики роликів на основі обраної діагностичної ознаки. Спосіб полягає у визначенні і порівнянні температури поверхні стрічки і поверхні механізму, що закриває, датчика інфрачервоного випромінювання. При цьому виконуємо діагностичну зупинку конвеєра на заданий час для нагрівання поверхні стрічки несправними роликами, вимірювання температури навколишнього середовища і температуру стрічки під час подальшого діагностичного запуску конвеєра за допомогою датчика інфрачервоного випромінювання, вимірюємо кількість імпульсів, які відповідають проходженню міток, завданих на барабан конвеєра, з кроком, кратним відстані між його роликоспорами, визначаємо час, що минув з початку діагностичного запуску конвеєра, з урахуванням якого коректуємо величину температури нагрітої поверхні стрічки до величини, що характеризує початковий нагрів роликами, визначаємо відхилення скоригованої температури над температурою навколишнього середовища і порівнюємо його з гранично припустимим відхиленням, при цьому визначення наявності несправних роликів ведемо за перевищенням гранично допустимого відхилення, а визначення місця їх положення здійснюємо по кількості імпульсів. Як відомо, зменшення температури нагрітої поверхні в залежності від часу τ відбувається за експоненціальним законом

$$t_{\text{изм}} = t_{\text{наг}} e^{-\tau\alpha},$$

де стосовно до стрічкового конвеєру: $t_{изм}$ - вимірюється температура поверхні стрічки; $t_{наг}$ – температура нагріву частини стрічки від дефектних роликів; α – коефіцієнт, який характеризує швидкість охолодження поверхні; τ – час від початку діагностичного запуску до моменту вимірювання.

Тоді

$$T_{наг} = t_{изм} e^{-\tau\alpha}.$$

Урахування цього фактору дозволяє підвищити точність виявлення дефектних роликів, що особливо важливо на довгих конвеєрах, тому, що ділянки стрічки, нагріті дефектними роликами, просуваючись на заданій (зниженій) швидкості до місця установки датчика, охолоджуються і можуть досягти температури, яку, запобіжна система не враховуючи швидкості охолодження, може не виявити.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз діагностичних ознак технічного стану роликів, методів їх визначення, а також завдань, поставлених вище, дозволив виділити як найбільш надійний і точний – температурний метод.

При цьому діагностика несучих роликів стрічкового конвеєра здійснюється різними методами, основними з яких є використання теплових чи індуктивних датчиків з феромагнітних сплавів, які монтуються в стрічку, а також реалізація температурного контролю в запобіжній системі конвеєра. Для створення сучасних автоматизованих систем діагностики та керування стрічковим конвеєром використовувалося обладнання фірми Шнайдер Електрик.

Економічна ефективність застосування автоматизованої системи діагностики і прогнозування ресурсу досягається за рахунок таких факторів, як збільшення середнього часу між ремонтами, зростання продуктивності об'єкта обслуговування та зниження витрат на технічне обслуговування, фактичне усунення несподіваних несправностей, підвищення надійності і продуктивності, усунення вторинних несправностей, зменшення тривалості ремонтів. Створення автоматизованої системи діагностики технічного стану устаткування стрічкового конвеєра з регульованим приводом викликає необхідність розробки нових способів діагностики роликів на основі обраних діагностичних ознак.

Список літератури

1. Козярук А.Е. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования машин и механизмов / А.Е. Козярук, А.О. Кривенко, Ю.Л. Жуковский, С.В. Бабурин // СПб: Горный университет, 2019. - 90с.
2. Абрамов О.В. Прогнозирование состояния технических систем / О.В. Абрамов, А.Н. Розенбаум - М.: Наука, 1990. - 126с.
3. Коллакот А.Р. Диагностирование механического оборудования / А.Р. Коллакот Пер с англ. - Л.: Судостроение, 1980. - С.296.
4. Вибрация в технике: Справочник: В 6 т. Ред. совет: В.Н. Чэломат. -М.: Машиностроение, 1981. - т.4: Вибрационные процессы и машины /Под ред. Э.Э. Лавандела. -510 с.
5. Александров А.А. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования/ А.А. Александров, А.В. Барков, Н.А. Баркова, В.А. Шафранский // Л.: Судостроение, 1986. - 276 с.
6. Монастырский Б.Ф. Экспериментальные исследования влияния технического состояния роликов и ленты на энергоёмкость транспортирования / Б.Ф. Монастырский, Й.И. Плахотник, А.Н. Смирнов, В.И. Бесчастный // Шахтный и карьерный транспорт. -М.: Недра, 1990. -Вып.11. -С.68-71.
7. Монастырский В.Ф. Прогнозирование технического состояния ленточных конвейеров при помощи диагностики / В.Ф. Монастырский, В.И. Плахотник // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Нздра, 1986.-Вып.10.-С.38-42.
8. Тиханський М.П. Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів / М.П. Тиханський, Л.І. Єфіменко // Вісник КТУ. - 2008.-Вып.21. - С. 163-167.
9. Єфіменко Л.І. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський // Вісник КТУ. - 2010.-Вып. 25. - С. 163-167.
10. Лобов В.Й. Автоматизовані системи керування конвеєрними установками / В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан // Монографія: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». - Кривий Ріг. – 2015. – 450с.
11. Гуленко Г.Н. Совершенствование средств для предупреждения разрушения и контроля целостности конвейерных лент в СССР и за рубежом / Г.Н. Гуленко - М.: Черметинформация.- 1986.-37с.
12. Монастырский Б.Ф. Экспериментальные исследования влияния технического состояния роликов и ленты на энергоёмкость транспортирования / Б.Ф. Монастырский, Й.И. Плахотник, А.Н. Смирнов, В.И. Бесчастный //Шахтный и карьерный транспорт.- М.: Недра, 1990.-Вып.11.-С.68-71.
13. Монастырский В.Ф. Прогнозирование технического состояния ленточных конвейеров при помощи диагностики / Б.Ф. Монастырский, Й.И. Плахотник //Шахтный и карьерный транспорт.- М.: Недра,1986.-Вып.10.-С.38-42.
14. Liudmyla Yefimenko, Mykhailo Tykhanskyi (2015). Information systems in the technological processes automatic control development by technical condition criterion. Metallurgical and Mining Industry. No 1, p.p.28-31
15. Liudmyla Yefimenko, Mykhailo Tykhanskyi (2015). Analysis of the defect diagnostics methods and scanning for instructive parameters of the belt conveyor's gear. Metallurgical and Mining Industry. No 4, p.p.39-44

Рукопис подано до редакції 10.04.2019