

І.А. Маринич, к.т.н., доц.
О.Ю. Сердюк, к.т.н., ст. викладач
Криворізький національний університет

Система контролю технічного стану обладнання конвеєра з візуалізацією основних параметрів

Стрічкові конвеєри є найбільш поширеним типом транспортуючих машин безперервної дії в усіх галузях промисловості. Вони, як правило, є не тільки невід'ємною частиною технологічного процесу, а й визначають його темп, ритмічність, істотно впливають на організацію всього виробництва. На підприємствах гірничо-металургійного комплексу стрічкові конвеєри становлять близько 90 % від загальної кількості, тому питання контролю та діагностики стану обладнання конвеєра у режимі реального часу є досить актуальним завданням. Найбільш перспективним у цьому плані є створення системи контролю технічного стану обладнання конвеєра з візуалізацією основних параметрів на базі сучасних рішень таких компаній, як Schneider Electric або Siemens, що забезпечують контроль і моніторинг усіх параметрів та дають змогу операторові відстежувати всі зміни в стані обладнання конвеєра. В статті запропоновано один із варіантів створення такої системи. Оскільки основними складовими конвеєрного обладнання є асинхронний двигун та ролики, саме контроль їх технічного стану стає на перший план. З цією метою використовують методи вібродіагностики, виміру шуму та тепловізорні, а SCADA-система дозволить їх об'єднувати та візуально відтворювати. Основою роботи такої системи є діагностичні моделі основних механізмів, які у загальному варіанті складені з п'яти рівнів: основні вузли і деталі, які найбільш уразливі і піддалися діагностиці; основні структурні параметри, що визначають надійність; характерні поломки і дефекти вузлів; характерні зміни діагностичних сигналів та діагностичні ознаки і методи діагностування. Зазначено алгоритм діагностування стану конвеєра, який відображає всі основні етапи діагностики: введення технічних умов обладнання та поступове опитування датчиків для виявлення відхилень від заданих параметрів дозволяє реалізувати систему візуалізації у режимі реального часу для контролю і моніторингу основних параметрів технічного стану конвеєра.

Ключові слова: діагностична модель; конвеєр; контролер; система візуалізації; SCADA-система.

Актуальність теми. Сучасна технологія вантажно-розвантажувальних робіт на промислових підприємствах вимагає застосування різноманітних типів машин безперервного транспорту, що забезпечує безперервність і ритмічність технологічних процесів. У зв'язку з різними умовами експлуатації, актуальною є проблема створення технологічних ліній з гнучким у своєму використанні транспортуючим обладнанням серед якого широке застосування отримали машини безперервного транспорту. Одним із найбільш прогресивних видів транспорту, які забезпечують високу продуктивність при великих вантажопотоках, є конвеєрний транспорт. У сучасному виробництві конвеєри є невід'ємною частиною технологічного процесу, вони регулюють темп виробництва, забезпечують його ритмічність, сприяють підвищенню продуктивності праці, дозволяють вирішувати питання комплексної механізації транспортно-технологічних процесів. Безпосередній зв'язок конвеєрних машин із загальним технологічним процесом виробництва висуває до них особливі вимоги щодо міцності та здатності працювати в автоматичних режимах. Тому рішення, які дозволяють контролювати технічний стан обладнання у режимі реального часу з можливістю візуалізації процесу та моніторингу основних параметрів оператора, є досить актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Визначення технічного стану стрічкового конвеєра має свою специфіку з огляду на велику довжину, наявність складних вузлів і механізмів, зв'язаних між собою гнучким тяговим органом. Тому дуже важливо здійснювати постійний діагностичний контроль за технічним станом цих елементів і прогнозувати залишковий ресурс з урахуванням ступеня їхнього впливу на загальний ресурс установки. Дослідження, пов'язані з виявленням інформативних параметрів, якими займалися В.Ф. Монастирський, В.І. Плахотнік, М.Д. Генкін, Б.Л. Геріке [1–3], показали, що конвеєр, як складний об'єкт, можна розділяти на основні механізми й вузли та досліджувати їх окремо. Існує досить багато різних методів контролю технічного стану обладнання та відповідних рішень на їх основі. Зокрема це методи вібродіагностики, методи виміру шуму та тепловізорні методи. Деякі рішення розв'язують окремі завдання або суміжні параметри. Застосування новітніх методів на основі застосування людино-машинного інтерфейсу та створення

систем візуалізації для одночасного контролю технічного стану, так і для візуального відображення самого процесу може значно підвищити ефективність роботи стрічкового конвеєра. Тому назріла необхідність створення та модернізування моделей діагностики, які поєднують існуючі методи визначення технічного стану основних вузлів і конвеєра в цілому.

У роботі [4] розглянуто існуючі методи діагностики технічного стану основних елементів стрічкових конвеєрів, особливо – метод діагностики технічного стану трансмісії із приводним двигуном, заснований на аналізі вібропараметрів. Визначено, які недоліки та позитивні фактори наявні в кожного з методів, запропоновано найоптимальніші з них. Також існують готові рішення, такі як система T500 Elite Hotbus [5], яка здатна контролювати роботу устаткування в масштабах всього підприємства, на якому транспортує обладнання розташоване на великих відстанях один від одного. Багатофункціональна система може контролювати швидкість і положення стрічки, температуру підшипників, центрування барабана і його заклинювання. Система Watchdog Elite [6] – багатофункціональна система контролю роботи конвеєрів, оновлена за допомогою додавання функції безперервного контролю температури підшипників, яка дозволяє повністю контролювати кілька параметрів роботи конвеєрів, враховуючи положення стрічки і центрування барабанів (верхнього і нижнього), температуру підшипників, швидкість руху стрічки і блокування завантажувального патрубку. Але такі системи обмежені переліком контрольованих параметрів та мають можливості розширення, перепрограмування та зміни параметрів моніторингу. Також досить обмежені можливості візуалізації процесу.

Метою статті є створення системи контролю технічного стану обладнання конвеєра у режимі реального часу з візуалізацією основних параметрів.

Викладення основного матеріалу. Основними складовими конвеєрного обладнання є асинхронний двигун, редуктор та ролики, саме контролю їх технічного стану приділено найбільшу увагу. Ролики є елементом, наявним у стрічкових конвеєрах у великій кількості. В середньому на кожний кілометр конвеєра доводиться близько 3000 роликів при несучих трироликівих опорах і нижніх двороликових [2].

Пошкодження роликів безпосередньо веде до збільшення опору руху, а пошкоджений ролик є, як правило, джерелом підвищеного шуму і небезпеки для каркаса стрічки, а в крайньому разі і її samozаймання. Найбільшого поширення набули три методи діагностики: метод з використанням термовідеосигналів, метод вимірювання коливань і акустичний метод [8].

Методів діагностики асинхронних двигунів існує набагато більше: методи, засновані на аналізі вібрацій окремих елементів агрегату; методи, засновані на аналізі акустичних коливань, створюваних працюючою машиною; методи, засновані на вимірі й аналізі магнітного потоку в зазорі двигуна і зовнішнього магнітного поля; методи, засновані на вимірі й аналізі температури окремих елементів машини; методи діагностики механічних вузлів (зокрема підшипників), засновані на аналізі вмісту заліза в маслі; методи, засновані на аналізі електричних параметрів машини, та методи діагностики стану ізоляції. Для контролю технічного стану конвеєра пропонується функціональна схема, що вказана на рисунку 1. Вона враховує в себе схему стрічкового конвеєра з його основними частинами, точки зняття інформації датчиками, контролери, які перетворюють та оброблюють дані, що надходять з датчиків, та ЕОМ, яка приймає інформацію з контролерів та дозволяє аналізувати отримані дані.

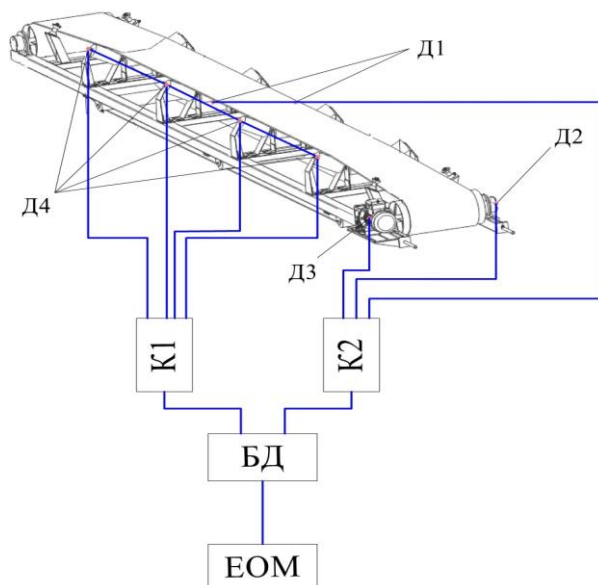


Рис. 1. Функціональна схема системи: Д1 – датчик сходу стрічки, Д2 – датчик швидкості стрічки, Д3 – датчик вібрації, Д4 – термокабель, К1 – контролер термокабелю, К2 – контролер, БД – база даних, ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

Правильна експлуатація стрічкових конвеєрів вимагає постійної (або періодичної) діагностики для виявлення пошкоджених елементів або вразливих місць електродвигуна, роликів та редуктора. Методи вібродіагностики отримали найбільш широке розповсюдження. Суть методу при діагностиці електродвигуна полягає в аналізі вібраційних параметрів у різних його точках, а при діагностиці підшипників дозволяє не тільки оцінити його стан в цілому, але окремих його елементів, що впливають на ресурс. Це дозволяє виконати достовірний прогноз технічного стану й оцінити залишковий ресурс підшипникового вузла. Працездатність редуктора під час експлуатації визначається за низкою ознак: підвищений шум, сильне нагрівання, зміна параметрів вібрації, витік масла. Ці поломки можуть бути викликані рядом причин, найбільш істотними з яких є: надмірне зношування зубчастих шестерень, поломка зубів шестерні, ушкодження підшипника або вихід його з ладу. Динамічні процеси, що відбуваються в зубчастих передачах редуктора, впливають на параметри виникаючої вібрації [7].

На основі аналізу будови приводного електродвигуна, його функціонування, статистичного аналізу показників надійності й діагностичних параметрів, їх математичного опису була розроблена діагностична модель (рис. 2), що має п'ять рівнів:

1. Основні вузли і деталі двигуна, які найбільш уразливі і піддалися діагностиці: 1-1 – підшипникові щити; 1-2 – підшипники;

2. Основні структурні параметри, що визначають надійність: 2-1 – розміри посадкових місць; 2-2 – якість посадки; 2-3 – розміри, форма й мікрогеометрія тіл і поверхонь кочення; 2-4 – радіальний зазор; 2-5 – ушкодження елементів підшипника; 2-6 – змащення підшипників;

3. Характерні поломки і дефекти вузлів двигуна: 3-1 – статичний ексцентриситет; 3-2 – зміна форми кілець підшипника; 3-3 – збільшення зазорів у гніздах сепаратора; 3-4 – зміна форми тіл кочення; 3-5 – збільшення зазорів; 3-6 – викошування тіл і поверхонь кочення; 3-7 – тріщини й розриви сепаратора; 3-8 – тріщини кілець; 3-9 – відсутність змащення; 3-10 – забруднення змащення;

4. Характерні зміни діагностичних сигналів: 4-1 – поява амплітудної модуляції низькочастотних гармонік; 4-2 – порушення стаціонарної вібрації; 4-3 – відносний ріст шумового компонента вібрації; 4-4 – поява комбінаційних і модуляційних частот; 4-5 – поява високочастотних ударних імпульсів; 4-6 – зміна параметрів високочастотної складової вібрації;

5. Діагностичні ознаки і методи діагностування: 5-1 – вібрації підшипника.

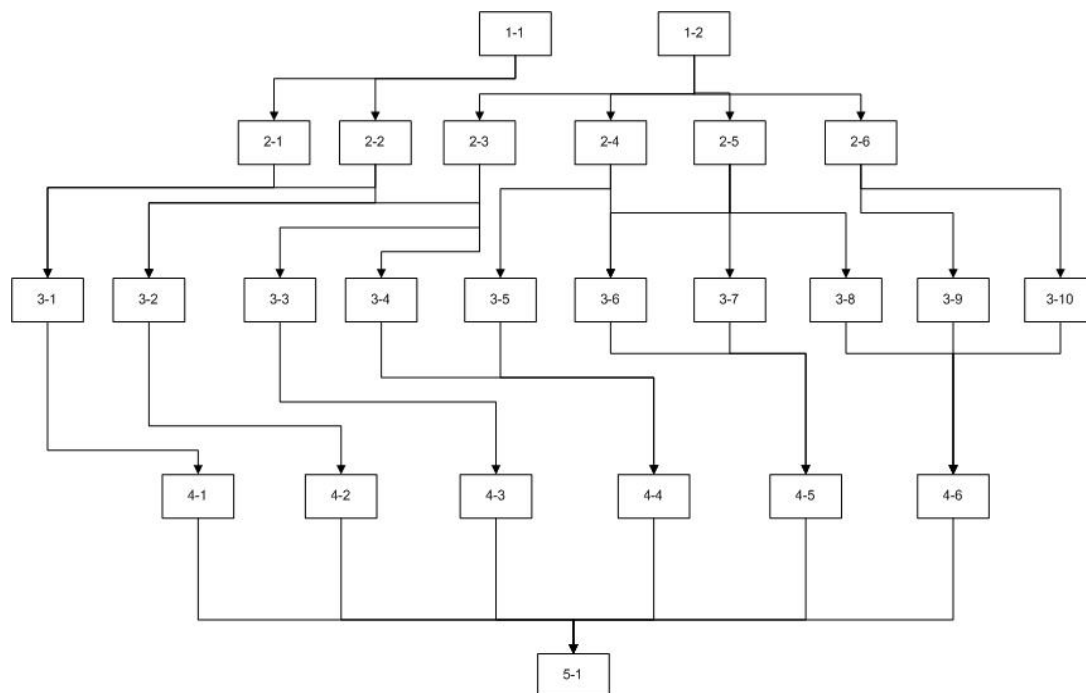


Рис. 2. Діагностична модель двигуна

Основними складовими елементами редуктора, від яких залежить його працездатність і необхідні діагностування, є: корпус, вали, зубчасті колеса, підшипники, ущільнення й система змащення. Численні дослідження, досвід експлуатації й аналіз технічного стану редукторів дозволив виявити найбільш істотні дефекти виготовлення, збірки, а також дефекти й відмови, що виникли під час експлуатації. Це дозволило виокремити прямі й непрямі діагностичні ознаки й параметри технічного стану, установити взаємозв'язок між ними. У результаті розроблена діагностична модель редуктора, що вказана на рисунку 3, яка складається з таких позначень і рівнів:

1. Основні вузли і деталі редуктора, які найбільш уразливі і піддалися діагностиці: 1-1 – зубчасті колеса; 1-2 – підшипникові вузли;

2. Основні структурні параметри, що визначають надійність: 2-1 – стан зубчастого зачеплення; 2-2 – якість збірки зубчастих коліс; 2-3 – чистота поверхні; 2-4 – точність виготовлення; 2-5 – змащення зубчастих коліс; 2-6 – розміри, форма й мікрогеометрія тіл і поверхонь кочення; 2-7 – радіальний зазор; 2-8 – ушкодження елементів підшипника;

3. Характерні поломки і дефекти вузлів редуктора: 3-1 – торцеве биття; 3-2 – неврівноваженість; 3-3 – заїдання; 3-4 – тріщина зуба; 3-5 – відкол, поломка зуба; 3-6 – перекіс коліс; 3-7 – задири; 3-8 – абразивне зношування; 3-9 – статичний ексцентриситет; 3-10 – порушення змащення зубчастих коліс; 3-11 – збільшення зазору в гніздах сепаратора; 3-12 – зміна форми кілець; 3-13 – зміна форми тіл хитання; 3-14 – збільшення зазорів; 3-15 – динамічний ексцентриситет; 3-16 – викривування тіл і поверхонь кочення; 3-17 – тріщини й розриви сепаратора; 3-18 – тріщини кілець підшипника;

4. Характерні зміни діагностичних сигналів: 4-1 – модуляція частоти зубозачеплення; 4-2 – зміна амплітуди; 4-3 – зміна амплітуд гармонік; 4-4 – зміна параметрів частотної модуляції; 4-5 – розширення спектральних ліній; 4-6 – зміна резонансних частот; 4-7 – порушення стаціонарності вібраційних процесів; 4-9 – зміна амплітуд гармонік і субгармонік, зміна параметрів частотної модуляції; 4-10 – поява модуляційних або комбінаційних частот; 4-11 – поява модуляційних і комбінаційних частот біля власної частоти підшипника; 4-12 – поява високочастотних ударних імпульсів; 4-13 – зміна високочастотної складової вібрації;

5. Діагностичні ознаки і методи діагностування: 5-1 – вібрації зубчастих коліс; 5-2 – вібрації підшипникових вузлів.

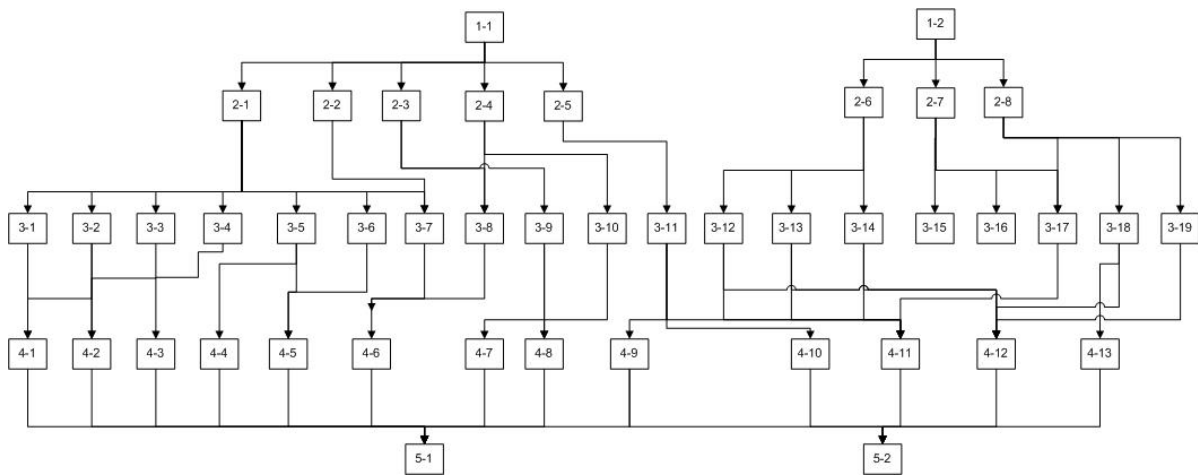


Рис. 3. Діагностична модель редуктора

На рисунку 4 наведено алгоритм, який відображає основні етапи перевірки працездатності і діагностування обладнання конвеєра. Основними етапами перевірки є введення початкових параметрів та почергове опитування сигналів з датчиків.

Спочатку опитуються датчики вібрації підшипників двигуна та вібрації зубчастих коліс редуктора. Далі дані, які надійшли з датчиків, перевіряються з технічними умовами роботи двигуна та редуктора. В цьому випадку перевіряється рівень вібрації. Якщо рівень перевищує допустимий, тоді відбувається оповіщення операторів про проведення вібродіагностики для визначення несправності підшипників та зубчастих коліс. Якщо рівень вібрації, отриманий з датчиків, не перевищує норму, тоді це означає, що двигун та редуктор знаходяться у задовільному стані.

Після перевірки датчиків вібрації опитуються датчики температури роликів. Якщо значення температури перевищує встановлену норму, тоді операторів оповіщається, який саме ролик або ролики перевищили температурну норму, і після цього відбувається діагностика стану роликів. Якщо рівень температури не перевищує норму, тоді це означає, що ролики знаходяться у задовільному стані.

Наступним етапом є опитування датчиків швидкості стрічки. Якщо значення швидкості не перевищує встановленого значення, а навпаки падає, це говорить про пошкодження або пробуксовку конвеєрної стрічки. Тоді відбувається оповіщення операторів з подальшим визначенням стану стрічки та її відновленням. Останнім етапом є опитування датчиків положення стрічки. Якщо зміщення стрічки являється не критичним, тоді відбувається оповіщення операторів і конвеєр продовжує роботу. Якщо зміщення є критичним, тоді операторів оповіщається про екстрену зупинку роботи конвеєра та подальше ліквідування подібної несправності.

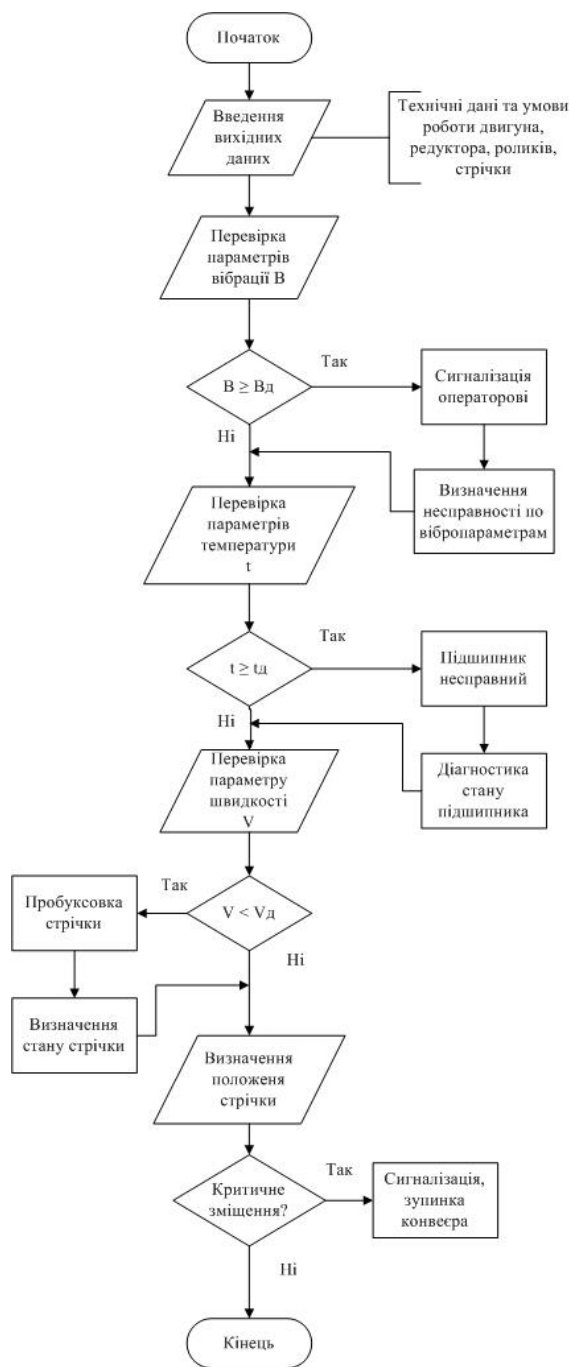


Рис. 4. Алгоритм діагностики обладнання конвеєра

Для того щоб продемонструвати вигляд вікна візуалізації системи, що пропонується візьмемо, тільки основні параметри. Вхідними сигналами кожного з каналів системи є: температура роликів, вібрації підшипників, швидкість та положення стрічки. Зв'язок програмованих логічних контролерів з технічними засобами нижнього рівня (датчиками, перетворювачами, виконавчими механізмами) здійснюється по фізичних каналах введення-виведення, а зв'язок між собою здійснюється за допомогою високошвидкісної індустріальної шини Profibus-DP. Ця шина належить до класу шин з гарантованим часом доставки, які здатні працювати в реальному масштабі часу. Використаємо два контролери Modicon M340 від фірми Schneider Electric [9], а для розробки прикладного програмного забезпечення відповідно використаємо програмний пакет Unity Pro XL, який забезпечує програмування контролерів цього виробника.

Для програмування використаємо мову програмування Ladder Diagram (LD). Мова призначена для програмування промислових контролерів. Синтаксис мови є зручним для заміни логічних схем, виконаних на релейній техніці, й розрахований на знайомих з нею інженерів з автоматизації, що працюють на

промислових підприємствах. Забезпечує наочний інтерфейс логіки роботи контролера, який полегшує не лише задачі власне програмування і введення в експлуатацію, але й швидкий пошук неполадок у підключеному до контролера обладнанні [10, 11]. Розроблена програма наведена на рисунку 5.

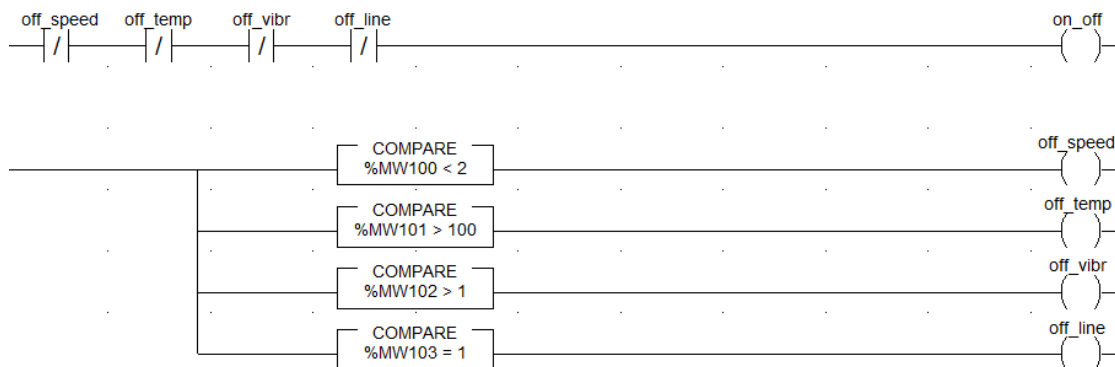


Рис. 5. Реалізація програмного забезпечення на мові LD'

При запуску конвеєра відбувається зчитування інформації з датчиків. У блоках Compare відбувається порівняння та контроль значень з датчиків. Також маємо 4 нормально замкнуті контакти `off_speed`, `off_temp`, `off_vibr` та `off_line`, які забезпечують екстрену зупинку конвеєра. Змінні `%MW100`, `%MW101`, `%MW102`, `%MW103` являють собою значення швидкості стрічки, температуру роликів, віброшвидкість та положення стрічки відповідно.

У початковому стані всі контакти замкнуті, і це означає, що конвеєр працює в нормальному режимі. Якщо значення швидкості стрічки в змінній `%MW100` менше за заданий параметр, тоді контакт `off_speed` розмикається, таким чином екстрено зупинивши конвеєр для виконання діагностики. Якщо значення температури роликів у змінній `%MW101` більше за заданий параметр, тоді контакт `off_temp` розмикається, таким чином екстрено зупинивши конвеєр для виконання діагностики. Якщо значення віброшвидкості в змінній `%MW102` менше за заданий параметр, тоді контакт `off_vibr` розмикається, таким чином екстрено зупинивши конвеєр для виконання діагностики. Якщо значення положення стрічки в змінній `%MW103` дорівнює одиниці, тоді контакт `off_line` розмикається, таким чином екстрено зупинивши конвеєр для виконання діагностики. Опис змінних у редакторі даних зображено на рисунку 6, а на рисунку 7 представлено вікно розробленої системи візуалізації [10, 12].

Name	Type	Address	Comment
off_temp	BOOL		Відключення конвеєра при досягненні критичної температури роликів
off_vibr	BOOL		Відключення конвеєра при досягненні критичної віброшвидкості
off_line	BOOL		Відключення конвеєра при критичному зміщенні стрічки
off_speed	BOOL		Відключення конвеєра при досягненні критичної швидкості стрічки
on_off	BOOL		Включення/Виключення конвеєра
	INT	%MW100	Значення швидкості стрічки
	INT	%MW101	Значення температури роликів
	INT	%MW102	Значення віброшвидкості
	INT	%MW103	Положення стрічки

Рис. 6. Список змінних у редакторі даних

Розроблена SCADA-система забезпечує моніторинг усіх параметрів, які необхідні для контролю технічного стану обладнання конвеєра, а саме: віброшвидкостей двигуна та редуктора, температури усіх роликів, швидкості стрічки та її положення. Положення стрічки відображається світловими індикаторами: якщо відхилення стрічки є некритичним, то індикатор світиться жовтим кольором, а якщо відхилення стрічки є критичним, тоді індикатор світиться червоним кольором. Таким чином оператор має змогу відреагувати на показання, які забезпечує розроблена SCADA-система.

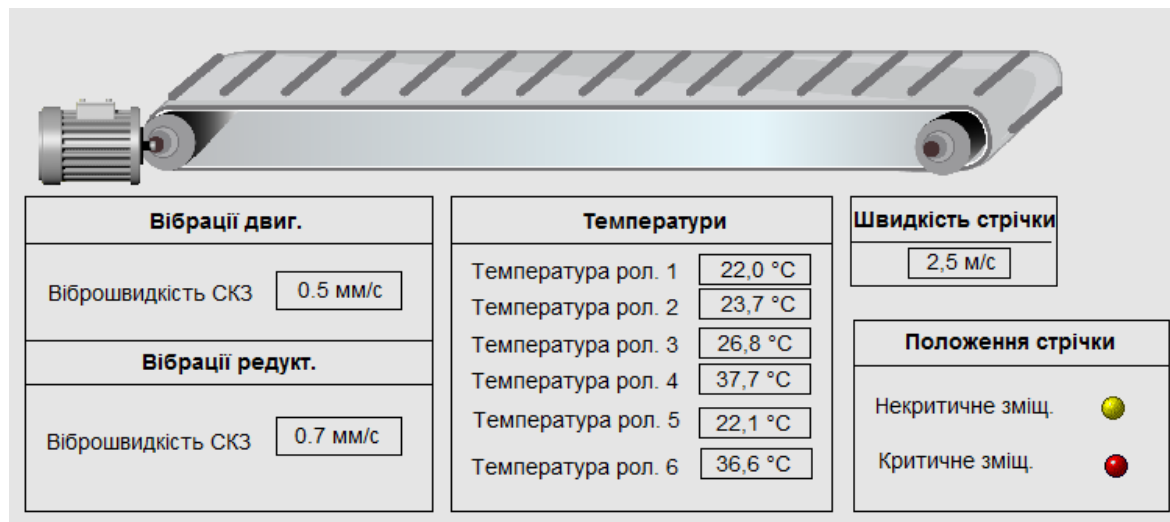


Рис. 7. Розроблена SCADA-система

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розроблена архітектура системи відповідає сучасним вимогам, дає змогу здійснювати поточний контроль технічного стану конвеєра у режимі реального часу, що забезпечує оперативний контроль та запобігання аварійних ситуацій. Розроблений алгоритм діагностування стану конвеєра відображає всі основні етапи діагностики: введення технічних умов обладнання та поступове опитування датчиків для виявлення відхилень від заданих параметрів. Наведені діагностичні моделі відповідають повному моніторингу обладнання, а розроблена SCADA-система відображає контроль основних технічних параметрів та дає змогу операторові відстежувати всі зміни в технічному стані обладнання конвеєра. Система, реалізована на ПЛК Schneider Electric, є досить гнучкою і дозволяє розширювати кількість контрольованих параметрів й тим самим забезпечує резерв на майбутнє без суттєвих змін своєї архітектури.

Список використаної літератури:

1. Монастирський В.Ф. Прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів за допомогою діагностики / В.Ф. Монастирський, В.І. Плахотник // Шахтний і кар'єрний транспорт. – М. : Надра, 1986. – Вип. 10. – С. 38–42.
2. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. Герике Б.Л. Вибродиагностика горных машин и оборудования : учеб. пособ. / Б.Л. Герике, И.Л. Абрамов, П.Б. Герике. – Кемерово : КузГТУ, 2007. – 167 с.
4. Єфименко Л.І. Діагностика технічного стану основних вузлів стрічкового конвеєра / Л.І. Єфименко, М.П. Тиханський, І.А. Маринич // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів, 2014. – Вип. 24.8. – С. 149–156.
5. Systems T500 Elite Hotbus [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://go4b.co.uk/ru/products/electronic-monitoring-equipment/sistemy-bezopasnosti/t500-elite-hotbustm/269>.
6. Systems Watchdog Elite [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.go4b.com/Usa/products/hazard-monitoring-systems/watchdog-elite-hazard-monitor.asp>.
7. Купін А.І. Інформаційна технологія для групової діагностики асинхронних електродвигунів на основі спектральних характеристик та інтелектуальної класифікації / А.І. Купін, Д.І. Кузнецов. – Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2016. – 200 с.
8. A Study of the speed effect of moving sintering trolleys on the productivity of the conveyor machine / M.Nazarenko, N.Nazarenko, V.Lobov et al. // Eastem-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 4. – P. 42–51.
9. ПЛК Modicon M340 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.se.com/ru/ru/product-range/1468-modicon-m340/#overview>.
10. Vijeo Citect Technical overview. – Schneider Electric, 2012. – P. 35 [Electronic resource]. – Access mode : https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=682844707&p_File_Name=Vijeo_Citect_Tech_Overview_hires.pdf.
11. Kamboj S. Development of Automatic Sorting Conveyor Belt Using PLC / S.Kamboj, A.Diwan // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2019. – № 8. – P. 109–118.
12. Howimanporn S. Real-Time Evaluation Position Control of Directional Wheel Conveyor Using Fuzzy Embedded PLC and SCADA / S.Howimanporn, S.Chookaew, C.Silawatchananai // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2021. – № 6. – P. 328–336.

References:

1. Monastyr's'kyj, V.F. and Plahotnyk, V.I. (1986), «Prognozuvannja tehničnogo stanu strichkovykh konvejeriv za dopomogoju diagnostyky», *Shahitnyj i kar'jernyj transport*, Nadra, M., Issue 10, pp. 38–42.
2. Genkin, M.D. and Sokolova, A.G. (1987), *Vibroakustičeskaja diagnostika mashin i mehanizmov*, Mashinostroenie, M., 288 p.
3. Gerike, B.L., Abramov, I.L. and Gerike, P.B. (2007), *Vibrodiagnostika gornyh mashin i oborudovanija*, ucheb. posob., KuzGTU, Kemerovo, 167 p.
4. Jefymenko, L.I., Tyhans'kyj, M.P. and Marynych, I.A. (2014), «Diagnostyka tehničnogo stanu osnovnyh vuzliv strichkovogo konvejera», *Naukovyj visnyk NLTU Ukrai'ny*, L'viv, Issue 24.8, pp. 149–156.
5. Systems T500 Elite Hotbus, [Online], available at: <https://go4b.co.uk/ru/products/electronic-monitoring-equipment/sistemy-bezopasnosti/t500-elite-hotbustm/269>
6. Systems Watchdog Elite, [Online], available at: <https://www.go4b.com/Usa/products/hazard-monitoring-systems/watchdog-elite-hazard-monitor.asp>
7. Kupin, A.I. and Kuznecov, D.I. (2016), «Informacijna tehnologija dlja grupovoi' diagnostyky asynhronnyh elektrodyguniv na osnovi spektral'nyh harakterystyk ta intelektual'noi' klasyfikacii'», FOP Chernjavs'kyj D.O., Kryvyj Rig, 200 p.
8. Nazarenko, M., Nazarenko, N. and Lobov, V. et al. (2017), «A Study of the speed effect of moving sintering trolleys on the productivity of the conveyor machine», *Eastem-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4, pp. 42–51.
9. PLC Modicon M340, [Online], available at: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/1468-modicon-m340/#overview>
10. Schneider Electric (2012), «Vijeo Citect: Technical overview», p. 35, [Online], available at: https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=682844707&p_File_Name=Vijeo_Citect_Tech_Overview_hires.pdf
11. Kamboj, S. and Diwan, A. (2019), «Development of Automatic Sorting Conveyor Belt Using PLC», *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, No. 8, pp. 109–118.
12. Howimanporn, S., Chookaew, S. and Silawatchananai, C. (2021), «Real-Time Evaluation Position Control of Directional Wheel Conveyor Using Fuzzy Embedded PLC and SCADA», *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, No. 6, pp. 328–336.

Маринич Іван Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету.

<https://orcid.org/0000-0002-9036-8532>.

Наукові інтереси:

- автоматизація гірничо-металургійного виробництва;
- комп'ютерно-інтегровані технології.

E-mail: marynych@knu.edu.ua.

Сердюк Ольга Юріївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету.

<http://orcid.org/0000-0003-0505-0800>.

Наукові інтереси:

- комп'ютерно-інтегровані технології;
- експертні системи розрахунку ефективності процесів.

E-mail: olgajs28@knu.edu.ua.

Стаття надійшла до редакції 13.10.2021.