

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ СПОСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ КАНАТА ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

SUBSTANTIATION OF RESEARCH OF DIAGNOSTIC METHODS FOR VARIABLE SECTION ROPE

Мета. В роботі проведено аналіз способів діагностики для канатів зі змінним поперечним перерізом. Обґрунтування полягає у підвищенні рівня ефективності, безпеки та виявлення надійного способу контролю стану, термінів експлуатації шахтних підйомних установок з головними гумотросовими канатами.

Методика дослідження. Аналітичний метод досліджень використовувався під час отримання сигналів що виникали внаслідок пориву троса. Було встановлено, що існують певні види дефектів, при яких виникають сигнали та передаються на датчик при пориві троса.

Результати дослідження. За цими результатами запропоновано діагностувати канати за допомогою електричним опором та розробити прилад. Отже, діагностування полягає в підведенні напруги до кінців тросів канату за обраними схемами і в заданій послідовності, встановлення величини струму, що виникає в провідниках, яких підведено напругу, аналізі певних струмів, надання інформації про стан тросів і, при необхідності, зупинки машини. Отримані сигнали можуть бути використані, як діагностичні параметри при контролі стану тросів канату спеціальною системою автоматичного виявлення розриву тросів резино-тросового каната.

Наукова новизна. Підвищення безпеки експлуатації підйомальних машин, зокрема ліфтів, можна досягти шляхом забезпечення безперервного та автоматичного, контролю тягової спроможності канатів – цілісності їх тягових елементів тросів. Відомо, що система контролю працює з формулюванням, передачею та обробкою сигналу. З'ясовані залежності величини електричного опору, як діагностичного параметра системи контролю стану головного гумотросового каната, при експлуатації на шахтній підйомній установці, які дозволяють визначити струми, що виникають в тросах у точках підведення різниці потенціалів для каната з цілими тросами й у разі їх пошкодження та в автоматичному режимі контролювати цілісність тросової основи каната, чим підвищити безпеку експлуатації шахтних підйомних комплексів.

Практичне значення. Визначені ефективні норми експлуатації гумотросових підйомних канатів; обґрунтовано параметри системи контролю діагностування цілісності та розроблено способи контролю технічного стану канатів, що захищені патентами на винахід.

Ключові слова: гумотросовий канат; змінний поперечний переріз; діагностика; сталеві троси; електричний опір.

Актуальність. Забезпечення надійної і безпечної роботи технічних систем вимагає обов'язкового вискоефективного оперативного діагностування за їх станом в цілях запобігання їх виходу з ладу, в тому числі і катастрофічного. Крім того, процедура діагностики дозволяє своєчасно виявити дефектні вузли і елементи, і отримати інформацію про фактичний стан контрольованого об'єкта.

Особливо актуальною проблема діагностики стає в складних і дорогих системах і в випадках, якщо від надійності її роботи залежить безпека людей.

До подібних систем відносяться, зокрема, ліфтове і підйомно-транспортне обладнання, оснащене гнучкими сталевими канатами як грузонесущого елемента. Канати є невід'ємною складовою вантажних і пасажирських ліфтів, шахтних підйомників, підйомних кранів різних конструкцій, підвісних канатних доріг і т.д.

Але з часом глибина видобутку корисних копалин тільки зростає, це пов'язано зі зростанням довжин канатів підйомних машин. При значних довжинах маса каната суттєво впливає на величину кінцевого (корисного) навантаження. Збільшення кінцевого навантаження може бути досягнуто використанням плоского гумотросового каната змінного поперечного перерізу. [1]

Аналіз досліджень. Найбільший внесок у створення теоретичних основ шахтного підйому внесли фундатори школи гірничої механіки академіки М.М. Федоров, О.П. Герман та їх послідовники професори Г.М. Єланчик, О.О. Залесов, О.С. Іллічов, П.П. Нестеров, Г.М. Савін, В.С. Тулін, В.Б. Уманський, Ф.М. Шклярський. Надалі вирішенням проблеми вдосконалення та підвищення ефективності підйомних установок займалися В.Д. Білий, М.Ф. Глушко, О.О. Горошко, В.І. Дворніков, М.Г. Картавий, В.Є. Католиков, В.А. Малиновський, І.С. Найдено, А.П. Нестеров, А.Г. Степанов, В.І. Самуся, З.М. Федорова, Н.М. Фідровська та ін. Роботи з обґрунтування параметрів підйомних установок із застосуванням гумотросових стрічок та канатів велися А.І. Бороховичем, К.С. Заболотним, В.В. Зотовим, А. Карбоньє, Л.В. Колосовим, Ю.І. Мелентсьвим, О.В. Панченко, М.В. Полушиною, В.А. Ропасем та ін.

З метою забезпечення безпеки роботи подібного обладнання і систем існують регламентовані терміни заміни канатів [2], що в ряді випадків не виправдано зважаючи цілком працездатного їх стану. Це призводить до витрат коштів і робочого часу. Але найчастіше в результаті перевантажень і агресивних умов роботи статичний стан канатів вимагає їх заміни до закінчення регламентного терміну.

Таким чином, завдання здійснення оперативної та достовірної діагностики поточного стану плоского гумотросового каната змінного поперечного перерізу є важливим і актуальним.

Встановлення невирішених проблем. Міцність та умови руйнування гумової оболонки каната залежать не лише від закономірностей розподілу напружень, а й від інших чинників, таких як, наприклад, нециліндрична форма поперечного перерізу троса, його деформування, його дискретна структура, міцність гуми осердя та інше. Механізм впливу цих чинників досить складний, його практично неможливо врахувати в аналітичних дослідженнях.

Гумова оболонка в канаті не є абсолютним діелектриком, вона проводить струм, чим впливає на перерозподіл струмів у канаті. Цей перерозподіл залежить і від взаємного розташування тросів та електропровідності тросів й гуми.

Постановка задачі. Розглядається можливість використання відомих способів діагностики, з метою знаходження найбільш ефективного з них для застосування канату зі змінним перерізом.

Основний матеріал. Найбільш ефективними є електромагнітні методи контролю стану канатів змінного перерізу [3], які дозволяють проводити визначення пошкоджень практично всіх типів.

Магнітні методи діагностування відіграють важливу роль у забезпеченні технічної та екологічної безпеки промислового обладнання та будівельних споруд, особливо в таких галузях як видобуток природних копалин, металургія, нафтова і газова промисловість, машинобудування, транспорт. Магнітні методи затверджені ГОСТами і міжнародними нормативами в якості стандартних методів для багатьох об'єктів, зокрема, сталевого прокату, трубопроводів, сталевих канатів [4,5]. Їх широке поширення обумовлено найважливішими перевагами цих методів:

- можливістю контролю як поверхневих, так і внутрішніх шарів об'єкта,
- безконтактність процесу контролю,
- можливість контролю через захисне покриття,
- висока продуктивність,
- безпеку для персоналу і навколишнього середовища.

Сучасні магнітні дефектоскопи складаються з двох частин - магнітного датчика (МД) і реєструючого пристрою (система управління, збору і обробки інформації).

МД конструктивно являє собою сукупність намагнічуючого пристрою з магнітними полями, які є електромагніти або постійні магніти та магніто-чутливі елементи для вимірювання топології магнітного поля. Намагнічуючий пристрій поздовжньо намагнічує контрольований канат, а магніто-чутливі датчики вимірюють параметри магнітного поля і полів розсіювання, які передаються в реєструючий пристрій.

Залежно від типу контрольованого каната і механізму в якому він застосовується конструкція цього модуля може бути різною (рис. 1).

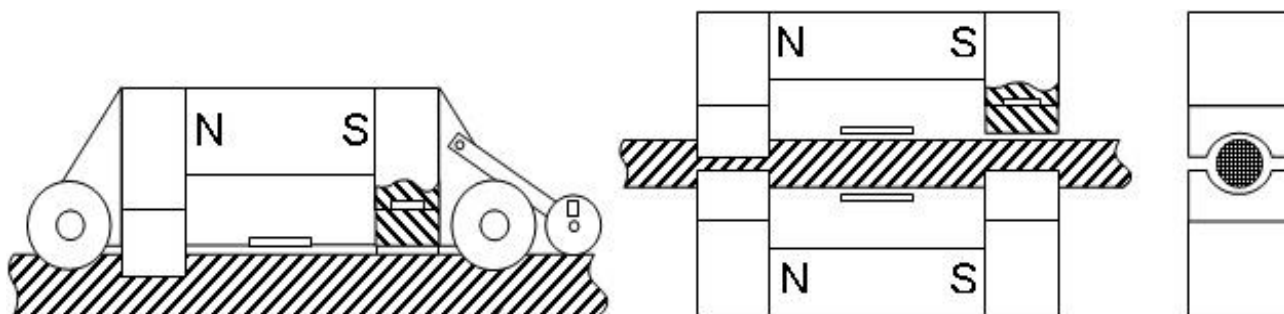


Рис. 1. Варіанти конструктивного виконання магнітного датчика дефектоскопа

Проведений аналіз даної науково-технічної інформації показав, що в даний час можна виділити наступні особливості.

- 1) вплив швидкості руху дефектоскопів на їх показання;
- 2) невисока роздільна здатність приладів;
- 3) неможливість визначення структурних дефектів в канатах.

Комплекс пристроїв можна застосувати для контролю стану канатів зі змінним перерізом. Так як дозволяє враховувати зазначені вище недоліки, і призначений для виявлення пошкоджень, обумовлених як втратою цілісності, так і структурними деформаціями.

На рис. 2 представлена конструкція магнітної системи дефектоскопа канатів [6], що дозволяє підвищити функціональні характеристики магнітного дефектоскопа в порівнянні з існуючими аналогами. Вона забезпечує можливість визначення пошкоджень канатів типу втрата металевого перетину (ВМП) - викликаних зносом або корозією матеріалу, і дефектів типу локальний дефект (ЛД) - обриви дротів сталевго каната.

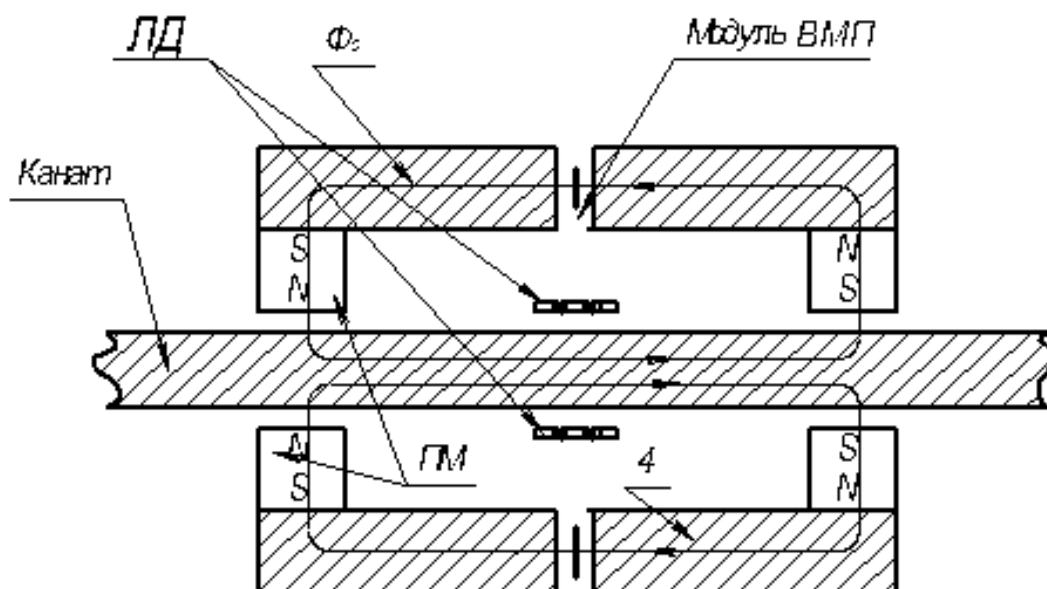


Рис. 2. Конструкція МС МД дефектоскопа.

Для ідентифікації дефектів типу ЛД застосовується поздовжнє намагнічування ділянки каната, що призводить до збільшення інтенсивності потоків розсіювання над місцем розташування дефекту внаслідок перерозподілу намагнічує потоку. Застосування поздовжнього намагнічування пов'язано з тим, що магнітні потоки, які використовуються для визначення ВМП, слабо залежать від наявності дефектів типу обривів дроту: наявність 1-2 дефектів знижує потік в системі менше, ніж на 1% [7]. Традиційно для реєстрації пошкоджень типу ЛД застосовувалися індукційні або гальваноманетні вимірювальні перетворювачі, що реагують на модуль нормальної складової потоків розсіювання, що змушувало розмішувати їх в безпосередній близькості від поверхні контрольованого об'єкта.

Зазначений метод підходить для діагностування поривів тросів канату змінного перерізу. Його застосування дозволяє реєструвати потоки розсіювання Φ_z анізотропних магніторезистивних перетворювачів (АМРП), які реєструють кут

нахилу вектора магнітної індукції (рис. 3) дозволяє розширити контрольований діапазон діаметрів канатів, і тим самим підвищити технологічність приладу.

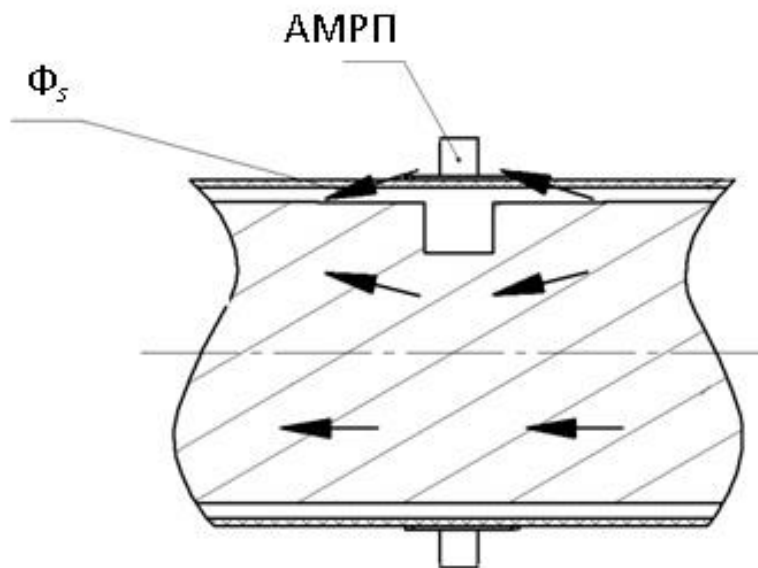


Рис. 3. Вузол реєстрації пошкоджень типу ЛД.

Для збору і обробки даних призначена система управління, яка виконує функції самоконтролю функціональності приладу, налаштування, прийому, зберігання, цифрової обробки, аналізу та візуалізацію результатів. Можливо кілька різних за виконання модифікацій цього блоку, в залежності від потреби замовника, що відрізняються техніко-економічними показниками.

У першому варіанті виконання модуль має необхідний мінімум сервісних функцій, виконаний на основі 8-розрядного промислового мікроконтролера, що містить в своєму складі близько 1 МБ Flash-пам'яті і двухстрочний ЖК-дисплей з розширеним температурним діапазоном.

Передбачені режими запису службової інформації, тестування і налаштування параметрів дефектоскопіювання. Кількість дефектів і їх розташування відображається по довжині каната в режимі діагностування. Після проведення перевірки можливий перегляд дефектів безпосередньо за допомогою блоку або дані передаються в ПЕОМ з метою більш детального аналізу і накопичення статистичної інформації.

У другому варіанті застосовується PDA-комп'ютер, що працює під управлінням ОС сімейства Windows. Вартість пристрою в цьому випадку зростає, особливо при використанні промислового виконання.

Для контролю геометричних параметрів металевих об'єктів доцільно використовувати вихрострумний метод контролю [8]. Його перевагою є те, що обстеження можна проводити за відсутності контакту між датчиком і канатом - безконтактно. Завдяки цьому вихрострумний контроль можна здійснювати при русі каната щодо датчика, причому швидкість руху при виробничому контролі може бути значною, що забезпечує високу продуктивність контролю.

В результаті аналізу особливостей алгоритму роботи пристрою, була синтезована структура вихретокового ЕМП, зображена на рис. 4, де ГВЧ - генератор

високої частоти, що здійснює подачу напруги високої частоти на вимірювальний контур (КІ). Для настройки КІ в необхідний режим роботи в його складу введено регулюючий елемент (ЕР). КР складається з вимірювального перетворювача і елементів, що забезпечують його настройку в резонанс. Далі, що знімається з нього напруга високої частоти подається випрямляч (В), де забезпечується його випрямлення детектором (Д) і обробка фільтром низької частоти (ФС), службовець для згладжування і придушення вищих гармонік в спектрі вихідного сигналу.

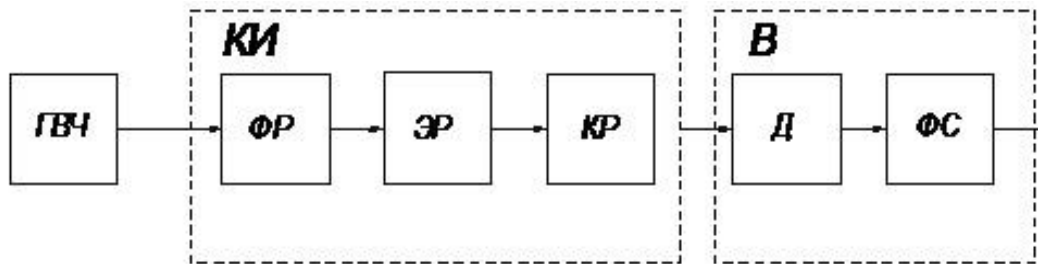


Рис. 4. Структура вихретокового ЕМП

Використання вихрострумовеого контролю для діагностування канату зі змінним перерізом є можливим. Отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, відсутність контакту і висока продуктивність визначають широкі можливості автоматизації вихрострумовеого контролю.

В даний час одним з досить надійним та технологічно простим в отриманні передачі й обробці є електричний сигнал.

Такий метод може діяти автоматично й практично безперервно, оскільки в ньому руйнування троса каната змінює – генерує електричний сигнал, який легко передавати і обробляти в автоматичному режимі, а при необхідності, давати сигнал на зупинку ліфта, ніж забезпечити безпеку його експлуатації.

Відомий спосіб дослідження міцності виробу, армованого сталевими тросами, що полягає в поздовжньому намагнічуванні троса, вимірі вторинного поля тросів ферозондів перетворенням з виходом в блок обробки сигналів парних гармонік, попереднє налаштування якого проводиться за допомогою моделей зразкових дефектів. Оцінка ступеня пошкоджень тросів проводиться на підставі порівняння протяжності вимірюваного і зразкового сигналів, для чого в блок обробки вводять сигнал датчика швидкості руху стрічки [11].

Діагностування полягає в підведенні напруги до кінців тросів канату за обраними схемами й в заданій послідовності, встановлення величини струму, що виникає в провідниках, яких підведено напругу, аналізі певних струмів, надання інформації про стан тросів і, при необхідності, зупинки машини.

Цій проблемі був присвячений ряд робіт [9, 10]. У них показано відповідність між математичними моделями напружено-деформованого стану гумотросової стрічки і моделлю розподілу електричних потенціалів і струмів в ній. Це дозволило авторам запропонувати метод контролю стану гумо тросових стрічок за значеннями їх електричних опорів.

У роботах досліджувалася залежність електричного опору гумо тросової стрічки з пошкодженими тросами. Показано, що перевірка стану тросів можливий на канатах деякої їх довжини. Рекомендацій що до способу визначення цієї довжини не надано.

Новий метод діагностики полягає в тому, що в укладку стрічки розміщують смуги, що не стискають. Смуги виконують похилими до осі стрічки. Змінюють зусилля натягу стрічки, прикладаючи різні зовнішні зусилля, розтягують аж до нуля. При різних навантаженнях контролюють зміну форми смуг. Порівнюють форми смуг при різних навантаженнях. Якщо смуги не змінювали свою форму, роблять висновок, що в стрічці на даній ділянці немає тросів, що мають викривлення або пошкодження, якщо смуги каната викривляються тільки при деяких межах зміни навантажень, то троси викривлені, інакше пошкоджені.

Контроль здійснюють шляхом розміщення в обкладанні стрічки похило до її поздовжньої осі та паралельно між собою пружних смуг. Потім контролюють деформацію смуг і по зміні їх форми при зміні натягу стрічки визначають стан тросів.

Розглянемо причини, які обумовлюють різний характер викривлення смуг:

1. При наявності в стрічці прямолінійних тросів, зусилля в тросах однакові і однакові подовження тросів на кожній ділянці стрічки. Отже, смуги будуть тільки зміщуватися один щодо одного, але не мінятимуть свою форму (НЕ скривлюватимуться).

2. При наявності в стрічці викривлених тросів або тросів з ушкодженнями зусилля в цих тросах в районі пошкодження або викривлення будуть відрізнятися від зусиль в інших тросах, значить відрізнятися будуть і деформації, в результаті будь-який перетин стрічки, які не паралельне осі стрічки буде викривлятися. Разом з стрічкою буде викривлятися і смуга, виконана на стрічці, якщо вона не паралельна осі стрічки.

Пропонований спосіб забезпечує можливість визначати наявність в стрічці дефектних тросів (викривлених, пошкоджених). Визначати за яких навантажень викривлення істотно впливають на розподіл зусиль в тросах. Цим забезпечується можливість встановлення реальної міцності стрічки. Іншою перевагою є збільшення терміну служби стрічки в 1,2-1,5 раза.

Висновки. Розглянуті вище методи діагностики канатів з поперечним перетином мають свої загальні недоліки, які не дозволяє проводити контроль більш ефективно і результативно. Основні недоліки полягають в низькому рівні виявлення дефектів, недостатнім обсягом одержуваної інформації про дефекти. Основне завдання методів полягає в виявленні дефектів, в своєчасному їх контролі. Дані методи інформації досить не дають, необхідно далекої шії вивчення.

Однак в сучасних умовах найбільш швидко стали застосовувати автоматизовані методи діагностики: вони дають більш точний і надійний результат з моніторингу канатів. Крім того, і розглянутих методів, найбільш доцільно застосувати метод діагностики канатів зі змінним перетином електричним опором.

Отримані результати показують, що порушення цілісності тросів забезпечує отримання електричного сигналу, величина якого залежить від стану кожного з

тросів канату, конструкції каната, рівня зміни сигналу, виникає в разі пошкодження одного з тросів.

Така система може бути спроектована на основі наступних даних: тип каната, його довжина, кількість тросів в канаті, питомий електричний опір тросів канату, електрична провідність гуми, розташованої між суміжними тросами, можливість доступу до одного або обох кінцях каната, значення електричних опорів тросів під всіх передбачених схемах їх визначення при відсутності ушкоджень тросів. Для каната необхідно розробити способи підведення напруги до тросів.

Перелік посилань

1. Плоский канат (2011). (пат. на корисну модель 61199)
2. Канаты стальные контроль и нормы браковки РД РОСЭК 012-972
3. Герасимов, В.Г. (1992). *Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: Практическое пособие.* Высшая школа.
4. ГОСТ 30415-96. Сталь. *Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом.* (2005). Издательство стандартов.
5. ISO 4309:2010: *Cranes-Wire ropes – Care, Maintenance, Installation, Examination and Discard* (2010). Berlin: Beuth Verlag.
6. Павленко, А.В., Пузин, В.С., Гуммель, А.А., Батищев, Д.В., Беляев, Н.П., Медведев, В.В. (2005). *Способ контроля площади поперечного металлического сечения стального каната и устройство для его осуществления* (Заявка № 2005122184)
7. Ковалев О.Ф. (2001). *Численно-экспериментальные методы моделирования магнитных и температурных полей в электромагнитных устройствах.* Дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н.
8. Герасимов, В.Г. (1983). *Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий.* Энергоатомиздат.
9. Анисимов, А.В., & Шпаков, И.И. (2015). Мониторинг технического состояния канатов шахтных подъемных установок. *Горный журнал Казахстана*, 40–43.
10. Бельмас, І.В., Билоус, О.І., Нельга, А.Т., & Бельмас, О.Л. (2008). Автоматическая диагностика тросов резинотросового каната. *Научно-теоретический и практический журнал. Оралдын алым жарысы (Уральский научный вестник)*, 40-47.
11. ISO 4309:2017.8. (2017). *Cranes-Wire Ropes Care, Maintenance, Installation, Examination and Discard.* — Berlin: Beuth Verlag.

АННОТАЦИЯ

Цель. В работе проведен анализ способов диагностики для канатов с переменным поперечным сечением. Обоснование заключается в повышении уровня эффективности, безопасности и выявления надежного способа контроля состояния, сроков эксплуатации шахтных подъемных установок с главными резинотросовыми канатами.

Методика исследования. Аналитический метод исследований использовался при получении сигналов возникающие вследствие порыва троса. Было установлено, что определенные виды дефектов, при которых возникают сигналы и передаются на датчик при порыве троса.

Результаты исследования. По этим результатам предложено диагностировать канаты с помощью электрическим сопротивлением и разработать прибор. Итак, диагностирования состоит в подведении напряжения к концам тросов каната по выбранным схемам и в заданной последовательности, установление величины тока, возникающего в проводниках, которых

подведены напряжение, анализе определенных токов, предоставление информации о состоянии тросов и, при необходимости, остановки машины. Полученные сигналы могут быть использованы, как диагностические параметры при контроле состояния тросов каната специальной системой автоматического обнаружения разрыва тросов резино-тросовой каната.

Научная новизна. Повышение безопасности эксплуатации подъемных машин, в том числе лифтов, можно достичь путем обеспечения непрерывного и автоматического, контроля тяговой способности канатов - целостности их тяговых элементов тросов. Известно, что система контроля работает с формулировкой, передачей и обработкой сигнала. Выявлены зависимости величины сопротивления, как диагностического параметра системы контроля состояния главного резино-тросового каната, при эксплуатации на шахтной подъемной установке, которые позволяют определять токи, возникающие в тросах в точках подвода разности потенциалов для каната с целыми тросами и в случае их повреждения и в автоматическом режиме контролировать целостность тросовой основы каната, чем повысить безопасность эксплуатации шахтных подъемных комплексов.

Практическое значение. Определены эффективные нормы эксплуатации резино-тросовых подъемных канатов; обоснованы параметры системы контроля диагностирования целостности и разработаны способы контроля технического состояния канатов, защищены патентами на изобретение.

Ключевые слова: *резино-тросового канат; сменный поперечное сечение; диагностика; стальные тросы; электрическое сопротивление.*

ABSTRACT

Purpose. The paper analyzes the diagnostic methods for ropes with variable cross-section. The rationale consists in increasing the level of efficiency, safety and identifying a reliable method for monitoring the condition, service life of mine hoisting installations with main rubber-cord ropes.

Research methodology. The analytical research method was used when receiving signals arising from a cable break. It was found that certain types of defects in which signals arise and are transmitted to the sensor when the cable breaks.

Research results. Based on these results, it was proposed to diagnose the ropes using electrical resistance and develop a device. So, diagnostics consists in applying voltage to the ends of the rope ropes according to the selected schemes and in a given sequence, establishing the magnitude of the current arising in the conductors that are supplied with voltage, analyzing certain currents, providing information about the state of the ropes and, if necessary, stopping the machine. The received signals can be used as diagnostic parameters when monitoring the condition of the rope ropes by a special system for automatic detection of rupture of rubber-rope ropes.

Scientific novelty. Improving the safety of lifting machines, in particular elevators, can be achieved by providing continuous and automatic control of the traction of ropes - the integrity of their traction elements of the cables. It is known that the control system works with the formulation, transmission and processing of the signal. The dependences of the resistance value as a diagnostic parameter of the system for monitoring the state of the main rubber-cord rope, during operation on a mine hoist, have been clarified, which make it possible to determine the currents arising in the ropes at the points of supply of the potential difference for a rope with intact ropes and in case of damage and automatically monitor the integrity of the rope base of the rope, than to increase the safety of operation of mine hoisting complexes.

Practical value. The effective norms of exploitation of rubber cord hoisting ropes have been determined; the parameters of the control system for diagnostics of integrity have been substantiated and methods for monitoring the technical condition of ropes have been developed, protected by patents for invention.

Keywords: *rubber rope; variable cross section; diagnostics; steel cables; electrical resistance.*