

УДК 622.625.28

О. М. СІНЧУК, Е. С. ГУЗОВ, І. О. СІНЧУК (ДВНЗ «КНУ»), В. О. ЧОРНА (КрНУ)

ДВНЗ «Криворізький національний університет», кафедра Автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Україна, м. Кривий Ріг, вул. ХХІІ Партз'їзду, 11, тел.: (056) 409-17-30, ел. пошта: speet@ukr.net

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, кафедра Систем електроживлення та енергетичного менеджменту, Україна, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел.: (067) 8575375, ел. пошта: chornajav@gmail.com

ДО ПИТАННЯ КОМПЛЕКСНОСТІ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ШАХТНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Вступ

Залізородна сировина (ЗРС), що видобувається на вітчизняних гірничорудних підприємствах, надаючи до 70 % від щорічних надходжень, є ваговою складовою поповнення валютних запасів України [1].

Між тим, на жаль, собівартість видобутку ЗРС щорічно зростає, що ставить під загрозу конкурентоспроможність цього стратегічного для вітчизняної економіки продукту експорту [2].

Основною складовою вищезгаданого одіозного процесу є зростання енергозатрат, які складають більш третини в загальній собівартості ЗРС, по всіх циклах технології його видобутку та доставки, незалежно від способу видобутку: відкритий (кар'єрний) чи підземний (шахтний) [2].

При цьому, на відміну від кар'єрних способів видобутку корисних копалин шахтний характеризується тим, що електроенергетичні витрати в них складають близько 90 %, в тому числі до 16 % - це енерговитрати на внутрішньошахтний транспорт (ВШТ), парк котрого налічує близько чотирьох тисяч електровозів з застарілим енергонеєфективним обладнанням.

Між тим другим, не менш вагомим негативним фактом у процесі експлуатації ВШТ залишається зростання матеріальних витрат гірничих підприємств на ремонт електрорухомого складу [2]. Як впливає з аналізу пошкоджень елементів нині експлуатованих тягових електромеханічних комплексів (ТЕМК) рудникових контактних видів електровозів (рис. 1 та рис. 2), динаміка їх ушкоджень з роками змінюється.

Але головне при цьому те, що матеріальні витрати на ремонт їх складових – тягових електричних двигунів (ТЕД) за останнє десятиліття по шахтам м. Кривого Рогу (так, очевидно, і іншим аналогічним підприємствам) збільшилися майже в 4 рази і становлять понад 90 % від усіх витрат на ремонт тягового електричного обладнання [2].

© Сінчук О. М. та ін., 2015

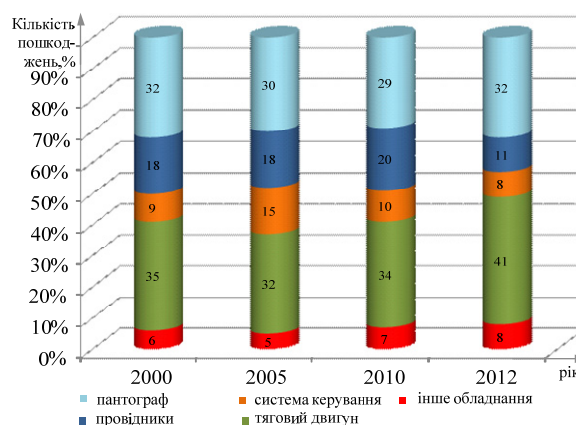


Рис. 1. Динаміка зміни по рокам укрупнених показників кількостей пошкоджень основних елементів тягового електроукомплектування рудникових електровозів К14 при експлуатації їх в залізородних шахтах Криворізького залізородного басейну

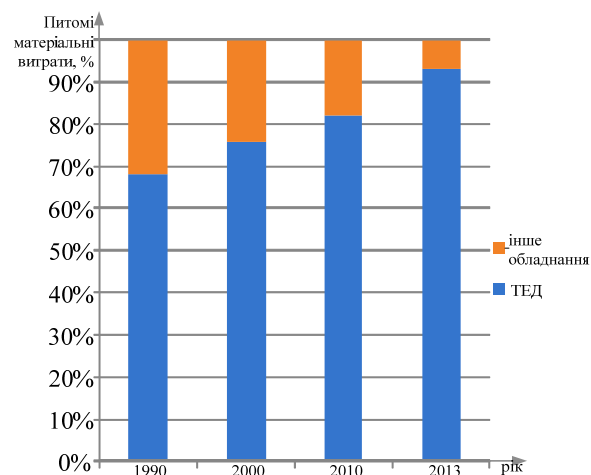


Рис. 2. Динаміка зміни питомих матеріальних витрат на ремонт тягового електроукомплектування рудникових електровозів по шахтах Криворізького залізородного басейну

Така ситуація диктує вимоги до необхідності додаткового аналізу цього процесу та розробки обґрунтованих і одночасно реальних та су-

часних пропозицій щодо виходу зі сформульованого положення [3; 4].

Актуальність досліджень

Приведення вищезгаданих факторів неефективності функціонування ТЕМК до бажано оптимальних значень з підвищенням його експлуатаційної надійності, як і електропотягів в цілому, можливі лише за умови побудови й застосування сучасних систем управління з можливостями поточного контролю за станом електричних та технологічних параметрів тягового обладнання. При цьому необхідно розуміти, що тягові електромеханічні комплекси електровозів, як основа структури електрообладнання взагалі, та їх рудникових (шахтних) видів зокрема, являють собою складні багатофункціональні системи, в котрих є значна кількість параметрів, які необхідно контролювати [3–10].

Однак, виходячи з тих же результатів аналізу пошкоджень складових тягових електромеханічних комплексів шахтних електровозів і «тяжкості» наслідків цих моментів, все ж першим кроком у побудові системи контролю параметрів елементів тягових комплексів повинно бути питання контролю тих параметрів, що найбільш ймовірно призводять до пошкодження складових тягових електромеханічних комплексів в т.ч. ТЕД, а, отже, неприцездатності електровоза в цілому [6; 9 – 11].

В роботах [5; 8] запропоновано контролювати температурні режими функціонування ТЕД. Для цього приведено авторські схемотехнічні рішення.

В свою чергу, в [9] приведено новий безсенсорний спосіб контролю швидкості руху потягу в підземних умовах з метою не допустити перевищення регламентованого значення. Між тим, бажана ефективність наведених вище засобів для умов шахтних електровозів буде достатньо ефективною лише в разі їх комплексного застосування.

Розглянемо кожний із засобів окремо. При цьому будемо дотримуватись тактики побудови способів в тому, щоб визначати необхідні параметри на основі вже контролюємих в структурі ТЕМК [10 – 13].

У свою чергу, такими параметрами є значення струму, напруги і викликаний ними процес нагріву елементів ТЕД. Як доведено в [5; 9 – 10], саме виходячи з контролю значень перших двох вищенаведених складових можна контролювати третій – температуру ТЕД в процесі функціонування електровоза в циклах рейсу [11].

Така черговість підходу до тактики будови системи контролю базується на результатах аналізу причин пошкоджень ТЕД під час робо-

ти електровозу. А це, насамперед, вплив температури перегріву [10] на складові ТЕД, точніше на його якірну обмотку (рис. 3).

Як свідчить рис. 3, температура ТЕД з часом роботи електровоза постійно збільшується, що в умовах безконтрольності, безумовно, призведе до перегріву обмоток з подальшим їх руйнуванням.

Другим, не менш важливим параметром для контролю є швидкість електровозу, котра регламентується відповідними «Правилами безпеки» [10], і перевищення котрої веде до серйозних технологічних аварій та загрози життю гірників.

Між тим для шахтних електровозів, зі специфікою їх функціонування в умовах підземних гірничих виробок, вектор вирішення вищевикладених проблем з їх комплексністю, в свою чергу, лежить в напрямку розбудови систем контролю на основі, перш за все, безсенсорних засобів [9; 10].

Постановка задачі

Обґрунтування та розробка схемотехнічних рішень ефективних та надійних в експлуатації засобів безсенсорного контролю теплових режимів тягових електричних двигунів постійного струму та швидкості руху шахтних електровозів.

Матеріали досліджень

Як свідчить досвід експлуатації наземних електрифікованих видів транспорту застосування лише системи безперервного температурного контролю режимів функціонування ТЕД дозволяє знизити відмови останніх на 30 ... 35 %, виходи з ладу колекторів в 2,6 ... 3,3 рази, кругових вогнів в них в 3,1 ... 3,7 рази при загальному зменшенні колекторів в 2,8 ... 3,4 рази [3]. В свою чергу, експлуатація ТЕД без систем контролю теплових режимів збільшує кількість їх відмов в 1,5 ... 3,5 рази [3].

Реально можливими способами контролю температури ТЕД та побудови відповідних захистів є:

- закладка в двигун датчиків температури;
- застосування теплових реле;
- непряма оцінка, яка базується на вимірюванні опорів обмоток двигуна або розрахунках втрат у двигуні.

Найбільш точним, та нині найчастіше застосовуваним, є метод безпосередньої оцінки температури обмотки або активної сталі за допомогою датчиків температури [13]. Головними недоліками методу є:

- необхідність закладення датчиків в обмотки двигуна, що в умовах експлуатації без його демонтажу неможливо;

– необхідність виведення з двигуна додаткових провідників, що в умовах жорсткої вібрації може призвести до їх ушкодження та відмов системи захисту.

Другим сучасним напрямком можуть бути, та і є, теплові реле, які все ж, як свідчать дослідження, раціонально застосовувати при захисті ТЕД з постійним або мало змінним навантаженням [13]. При перевищенні струмів тривалого режиму теплові реле спрацьовують занадто швидко, що може спричинити «перегони автоматів».

Окрім цього такі реле непридатні для захисту ТЕД від перегріву, що найбільш характерно для двигунів функціонуючих в складі ТЕМК рудникових електровозів [10].

Між тим, як свідчать дослідження авторів [5; 9; 11], розрахунок втрат енергії в ТЕД за аналізуючий період часу дозволяє здійснити непряму, але достатньо точну оцінку процесу його нагрівання.

При застосуванні цього методу період роботи ТЕД розбивається на інтервали, протягом яких струм можна вважати сталим. В сучасних мікропроцесорних бортових системах управління електровозів можна реалізувати безпосередню оцінку втрат енергії шляхом визначення еквівалентного струму відповідно до виразу:

$$I_{\text{екв}} = \alpha \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt} \quad (1)$$

де α – коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження двигуна при знижених швидкостях, приймається в межах 1,15 – 1,4 [5].

Якщо значення перевищує номінальний струм тривалого режиму, спрацьовує захист,

подаючи сигнал на відключення тягового електропривода.

Середня температура обмотки ТЕД може бути визначена за величиною її опору. Метод базується на властивості реальної зміни опору обмоток ТЕД в функції зміни температури.

Температура обмотки визначається за виразом [10]:

$$t_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma} - R_x}{R_x} (k + \tau_x) + \tau_x, \quad (2)$$

де R_{Γ} , R_x – опори обмоток, які виміряні, відповідно у гарячому та холодному стані; τ_x – температура обмотки у холодному стані; k – коефіцієнт, що дорівнює 235 для мідної обмотки та 245 для обмотки з алюмінію.

Як свідчать дослідження [3; 7; 10], найбільш небезпечне та інтенсивне нагрівання відбувається у обмотці якоря ТЕД, але контроль її температури супроводжується певними труднощами, пов'язаними зі щітковими контактами, оскільки їх опір нестабільний та може змінюватися в десятки разів залежно від марки щіток, їх приробітки, стану поверхні колектора та його температури, частоті обертів і т.п. До того ж щітки перекривають декілька колекторних пластин, шунтуючи окремі секції обмотки якоря двигуна. Тому достатньо точно визначення температури якірної обмотки за її опором неможливе.

Однак існує інший шлях – контролювати температуру за опором обмотки збудження (ОЗ). Це можливо виходячи з наступних міркувань: обмотка збудження ТЕД включається поспідовно з обмоткою якоря, тому по ним протікає однаковий струм; обмотки розташовані в одній машині, тому їх нагрівання та охолодження взаємопов'язані.

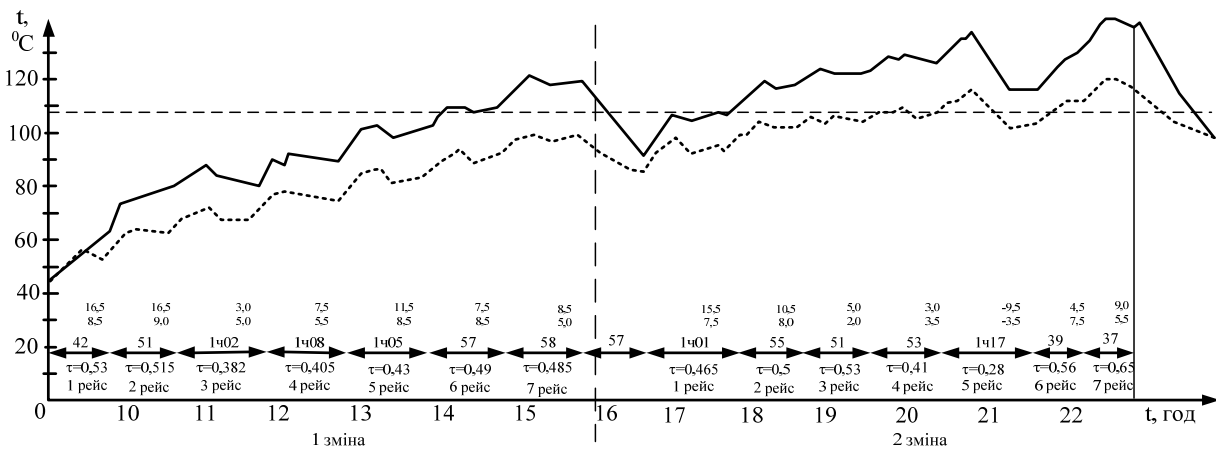


Рис. 3. Діаграма зміни температури обмотки якоря тягового двигуна ДТН-45/27 протягом двох змін роботи електровоза К14 (горизонт 1045 м ш. Батьківщина, ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»)

Це дозволяє за температурою ОЗ точно визначити температуру якоря. Дослідження розподілу температур, проведені авторами на реальному лабораторному стенді, показали, що при максимально допустимій температурі обмотки якоря вона нагрівається на 25 °С вище, ніж ОЗ. Враховано також, що допустима температура обмотки якоря ТЕД для ізоляції класу F складає 155 °С, а максимально допустима за нагріванням – становить 130 °С.

Отже логічним виглядає, що незважаючи на те, що ОЗ допускає й більш високу температуру, захист від перегрівання ТЕД повинен спрацьовувати при досягненні температури цієї обмотки 130 °С. При цьому температура відповідає рівню опору [11]:

$$R_{130}^{Cu} = R_x \frac{365}{235 + \tau_x} \quad (3)$$

На рис. 4 представлено варіант реалізації схеми захисту ТЕД від перегрівання.

Середнє значення напруги U знімають з ОЗ через коло, що складається з R1–R2 та C, яке обмежує імпульси напруги при комутаціях в силовому колі пристрою, що захищається. Середнє значення струму I , який протікає через ОЗ, визначають за допомогою шунта RS. Настроювання захисту на визначений опір та відповідну температуру здійснюють резистором підстройки R3. Блок пристрою захисту містить аналоговий інтегральний дільник, який виконує функцію ділення $U_{сер}/I_{сер}$ – тобто безперервно визначає величину опору обмоток. При досягненні значення опору, який відповідає температурі ОЗ 130 °С, захист спрацьовує, темпе-

ратура обмотки якоря при цьому сягає температури 155 °С.

Схема не потребує встановлення в ТЕД датчиків температури, – безпосередньо ОЗ ТЕД є датчиком. Це робить захист ТЕД простим та надійним.

В даній структурі як реальний варіант дільника для практичної реалізації може слугувати мікросхема 4-Quadrant Multiplier/Divider AD734 © Analog Devices, Inc. Схема підтримує два режими аналогового ділення. Її рекомендовано використовувати як аналоговий дільник, який працює в режимі безпосереднього регулювання напруги. Цей режим є більш точним, гнучким та дозволяє підвищити частоту роботи мікросхеми.

Другим параметром, котрий повинен підлягати контролю є швидкість руху потягу. Як відомо, цей параметр жорстко регламентований Правилами безпеки у шахтах [11] диференційовано по ділянкам підземного технологічного маршруту руху електровозів. При цьому найважливішою умовою забезпечення безпеки є обмеження швидкості руху ЕРС за умовою допустимої довжини гальмівного шляху, який при перевезенні вантажів не повинен перевищувати 40 м, а при перевезенні персоналу 20 м. Гальмівний шлях ЕРС розраховують за умов найгіршого варіанту – рух з вантажем під ухил до стволу. Ця ділянка найбільш небезпечна, швидкість руху на ній обмежують до 10 км/год, хоча (за тяговими можливостями) потяг може розвивати значно більшу швидкість.

В різні часові періоди розвитку рудничних типів електровозів розроблялися та перебувають в експлуатації до теперішнього часу ціла «лінійка» пристроїв контролю швидкості локомотивосоставів в тому числі й рудничових [5, 14].

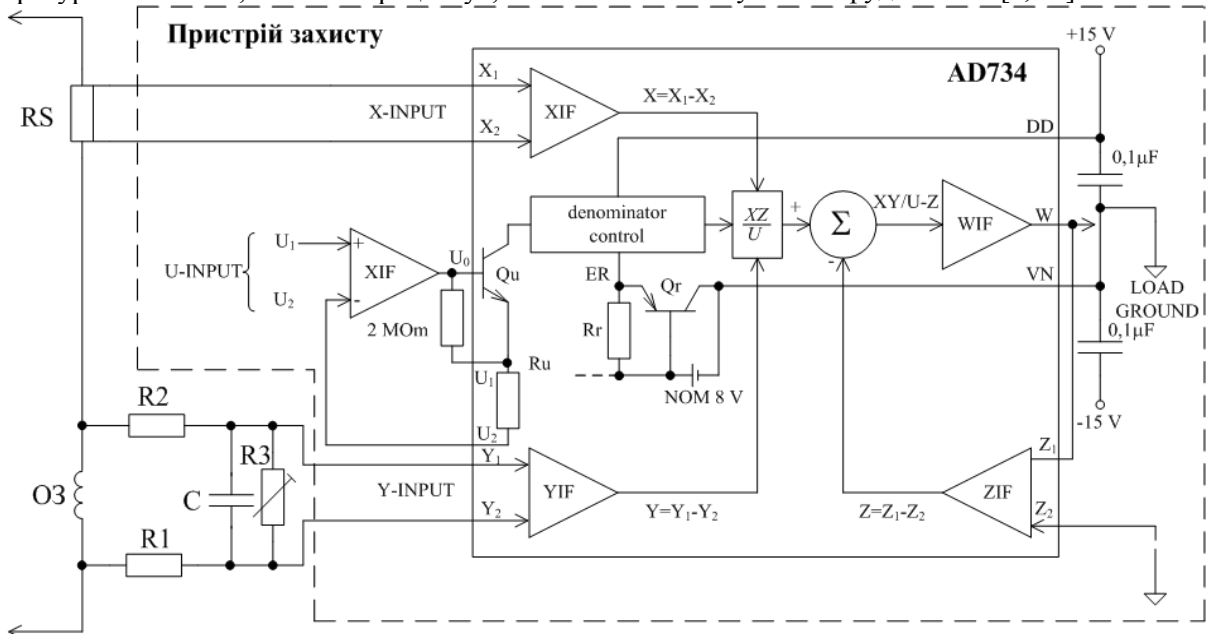


Рис. 4. Схема захисту тягового двигуна шахтного електровоза від перегрівання з використанням мікросхеми AD734 © Сінчук О. М. та ін., 2015

Так, в [5] приведено варіанти вимірювачів швидкості, встановлених на рудничних електровозах типу 10КР, 14КР виробництва Олександрівського машинобудівного заводу (Росія). Двоблокова система в першому блоці містить датчик–генератор з постійними магнітами, що генерує струм, величина якого пропорційна швидкості обертання ротора. Другий блок – магнітний тахометр, який відтворює ці струми та показує швидкість руху електровоза на пульті управління машиніста. Давач встановлюють на кришці редуктора тягової передачі електровоза та з'єднують з шестернею редуктора за допомогою власної шестерні. Як бачимо, навіть апріорно, очевидна складність такого пристрою.

За даними [14], в рудничних електровозах типу LG виробництва фірми ASEA (Швеція) для контролю швидкості руху електровозів використовують два варіанти. В першому датчики встановлюють на валу редуктора тягової передачі, в другому – вбудовують конструктивно в ТЕД. Обидва способи мають ті самі недоліки, як і в попередньому випадку.

Для контролю швидкості руху вітчизняного транспорту наразі застосовують ряд способів, в основу яких покладено контроль частоти обертання ТЕД або колісних пар з наступним перерахунком у швидкість руху потягу [5, 13].

Однак, якщо для умов електролокомотивів, які експлуатують в наземних умовах, зазначені варіанти систем контролю в тій чи іншій мірі прийнятні, то для умов їх підземного використання досягнення необхідної ефективності такими методами проблематичне [10].

На думку авторів, надійність вимірювача швидкості можна підвищити багатократно, застосувавши метод бездатчикового його контролю, використовуючи лише електричні параметри ТЕД. Відомо [14], що для ТЕД послідовного збудження значення струму й напруги однозначно визначають швидкість обертання. В загальному випадку частота обертання ТЕД дорівнює [14]:

$$\omega = \frac{U_{я} - IR_{я}}{C_{\omega} \Phi}, \quad (4)$$

де $U_{я}$ – напруга на якорі; I – струм ТЕД; $R_{я}$ – опір обмотки якоря; Φ – магнітний потік; C_{ω} – конструктивний коефіцієнт.

В електричній тязі прийнято використовувати лінійну швидкість руху:

$$v = \frac{U_{я} - IR_{я}}{C_v \Phi}. \quad (5)$$

Як відомо [14], для ТЕД послідовного збудження магнітний потік є функцією струму $\Phi = f(I)$, тоді вираз (5) буде мати наступний вигляд:

$$v = \frac{U_{я} - IR_{я}}{C_v f(I)}. \quad (6)$$

Не зважаючи на складну залежність магнітного потоку від струму (у зв'язку з насиченням сталі) вона може бути виражена гіперболою з показником степені $x < 1$, тобто $\Phi \approx I^x$. Тоді вираз (6) матиме вигляд:

$$v = \frac{U_{я} - IR_{я}}{kI^x}. \quad (7)$$

Використовуючи реальну електромеханічну характеристику ТЕД та задаючи значення струму I можна визначити відповідні швидкості v та обчислити значення kI^x . Розрахунки показують, що для різних характеристик показник степені x знаходиться в межах 0,4 ... 0,6. Якщо визначено значення x , то значення коефіцієнту зв'язку k дорівнює:

$$k = \frac{U_{я} - IR_{я}}{vI^x}. \quad (8)$$

Структура запропонованого вимірювача швидкості наведена на рис. 5.

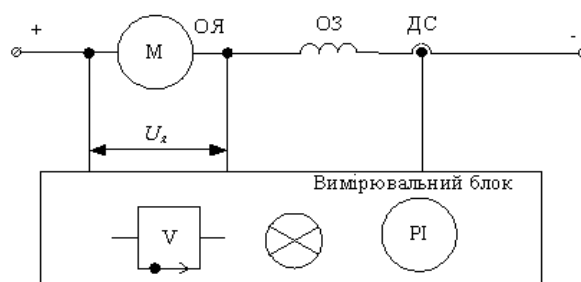


Рис. 5. Структурна схема вимірювача швидкості:

М, ОЗ – відповідно якор та обмотка збудження тягового електричного двигуна; ДС – датчик струму

Значення напруги якоря та струму двигунів подається на вхід вимірювального блоку, який обчислює поточну швидкість руху електровоза та видає її значення на табло або пристрій реєстрації. При перевищенні швидкості вище за допустиме значення запалюється сигнальна лампа. Крім того, на табло та пристрій пам'яті виводяться значення струму двигуна для інформування машиніста про поточне навантаження, як в дійсному часі, так і при необхідності відтворення в подальшому.

Висновки

Проведено аналіз та здійснено оцінювання якісних показників функціонування пристроїв контролю температурних режимів та вимірювачів швидкості, які застосовують в тягових електромеханічних системах з ТЕД постійного струму послідовного збудження сучасних руд-

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шидловский А. К. Геоэкономика та геополітика України [Текст] / А. К. Шидловский, Г. Г. Півняк., М. В. Рогоза, С. І. Випанасенко. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет. – 2007. – 282 с.
2. Бабец Е. К. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009–2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004–2011 гг. [Текст] / Е. К. Бабец, Л. А. Штанько, В. А. Салганик и др. – Кривой Рог: Видавничий дім. – 2011. – 329 с.
3. Носков В. И. Контроль и диагностика моторвагонных поездов с использованием нейронных сетей [Текст] / В. И. Носков, М. В. Липчанский, В. С. Блиндаж // Наук, техн. зб. «Комунальне господарство міст». – Харьков : ХНАМГ. – 2011. Вып. 101. – С. 278–283.
4. Yudong Li, Yujun Zhang and Tianyu Zhang., (2014), Simulation and Experimental Studies of Speed Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Motors for Mine Electric Locomotive Drive, *International Journal of Control and Automation*. Vol. 7, No. 1, pp. 55 – 68.
5. Синчук О. Н. Устройство для контроля и защиты от перегрева тяговых электродвигателей шахтных электровозов [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, В. А. Федотов, В. О. Черная // Электротехнические и компьютерные системы – 2014. – № 15 (91).
6. Zagirnyak M., Romashykhina Zh., and Kalinov A., (2013), Improved Reliability of Diagnostics of Induction Motor Broken Rotor Bars, *Proceedings of the XVI International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronics Engineering*, Ohrid, Macedonia, 2 – 14th September.
7. Шавкун В. М. Діагностування тягових електричних машин електротранспорту [Текст] / В. М. Шавкун // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков:– 2014. – Вып. 1/7(67). – С. 48 – 52.
8. Синчук О.Н. Вопросы повышения надежности системы мониторинга температурных режимов тяговых электрических двигателей рудничных электровозов [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, Д. О.Кальмус, В. О. Черная // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Вып. 4/2014 (87). – С. 44 – 50.
9. Синчук О.Н. О бездатчиковом способе контроля скорости движения рудничных электровозов [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, В. Л. Дебелый, Л. Л. Дебелый // Восточно-

них электровозів. Встановлено головні причини їх низької надійності та одночасно визначено напрям вдосконалення – бездатчикові способи контролю. За результатами проведених досліджень запропоновано функціональні та структурні схеми вимірювачів, що рекомендовані до практичної реалізації.

REFERENCES

1. Shidlovskiy A.K., Pivnyak G.G., Rogoza M.V., Vipanassenko S.I. *Geoekonomika ta geopolitika Ukraini* [Geoeconomics and geopolitics of Ukraine], Dnepropetrovsk, *Natsionalniy girnichiy universitet Publ.*, 2007, 282 p.
2. Babec E. K., Shtanko L. A., Salganik V. A. *Sbornik tehniko-ekonomicheskikh pokazateley gornodobyivayuschih predpriyatiy Ukrainyi v 2009–2010 gg. Analiz mirovoy konyunktury ryinka ZhRS 2004–2011 gg* [Compilation technical and economic parameters of mining enterprises of Ukraine in 2009- 2010 years. Analysis of the global IO market conditions 2004-2011]. Krivoy Rog, *Publishing House Publ.*, 2011, 329 p.
3. Noskov V. I., Lipchanskiy M. V., Blindag V. I. *Kontrol i diagnostika motor-vagonnyih poezdov s ispolzovaniem neyronnyih setey* [Monitoring and diagnostics motor-car trains using neural networks]. *Utilities city. KHAMG Publ*, Kharkov, 2011, vol. 101, pp 278–283.
4. Yudong Li, Yujun Zhang, Tianyu Zhang. Simulation and experimental studies of speed sensorless control of permanent magnet synchronous motors for mine electric locomotive drive, *International Journal of Control and Automation Publ.* 2014, Vol. 7, no. 1, pp. 55-68.
5. Sinchuk O. N., Guзов Je. S., Fedotov V. A., Chernaja V. O. *Ustrojstvo dlja kontrolja i zashhity ot peregreva tjagovyh elektrodvigatelej shahtnyh elektrovovozov* [Device for control and protection from overheating traction motors mine electric locomotives], *Elektrotehnicheskie i komp'juternye sistemy Publ.* Kyiv, (2014), vol. 15 (91), pp. 278–283.
6. Zagirnyak M., Romashykhina Zh., Kalinov A. Improved reliability of diagnostics of induction motor broken rotor bars, *Proceedings of the XVI International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronics Engineering*, Ohrid, 2013, 2 – 14th September.
7. Shavkun V.M. *Diagnostuvannya tyagovih elektrichnih mashin elektrotransportu* [Diagnosis of traction electric machines electric]. *Vostochno–Evropeiskii Zhurnal Peredovykh Tekhnologii Publ.* Kharkov, 2014, vol. 1/7(67), pp. 48 – 52.
8. Sinchuk O. N., Guзов Je. S., Sinchuk I. O., Kal'mus D. O., Chernaja V. O. *Voprosy povysheniya nadezhnosti sistemy monitoringa temperaturnyh rezhimov tjagovyh elektricheskikh dvigatelej rudnichnyh elektrovovozov* [The issues of reliability monitoring system temperature regimes traction electric motors mine electric locomotives]. *Visnik KrNU imeni Mihajla Ostrogradsk'ogo Publ*, Kremenchug, 2014, vol. 4(87), pp. 44 – 50.

Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып. 4/9 (70). – С. 59 – 63.

10. Черная В. О. К вопросу анализа повреждений тяговых двигателей шахтных электровозов [Текст] / В. О. Черная // Молодь: наука та інновації. Перша Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених. – Дніпропетровськ : ВНЗ «НГУ». – 2013. – С. 421 – 422.

11. НПАОП 10.0 – 1.01 – 05. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Луганськ : Копіцентр. – 2005. – 196 с.

12. Bertil Oberg. Computer-controller ore Transformation at the LKAB mine in Kiruna, (1979). Sweden *Information of ASEA*. 212 p.

13. Бутт Ю. Ф. Шахтный подземный транспорт: справочное издание. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт [Текст] / Ю. Ф. Бутт, В. Б. Грядущий, В. Л. Дебелый, А. Н. Коваль, А. Л. Фурман, В. М. Шука, В. А. Яценко : под общ. ред. Б. А. Грядущего. – Донецк : – 2009. – «ВИК», – Т.1. – 481 с.

14. Розенфельд В. Е. Теория электрической тяги [Текст] / В. Е. Розенфельд, И. И. Исаев, Н. К. Сидоров, М. С. Озеров. – М. : Транспорт – 1995. – 294 с.

9. Sinchuk O. N., Guзов Je. S., Sinchuk I. O., Debelyj V. L., Debelyj L. L. *O bezdatchikovom sposobe kontrolja skorosti dvizhenija rudnichnyh jelektrovosozostavov* [About the sensorless control method speed mine electromotostiv]. *Vostochno–Evropeiskii Zhurnal Peredovykh Tekhnologii Publ.* Kharkov, 2014, vol.4/9 (70), pp. 59 – 63.

10. Chernaya V. O. *K voprosu analiza povrezhdeniy tyagovyih dvigateley shahtnyih elektrovosov* [On the analysis of damage to electric traction motor shaft]. *First Ukrainian scientifically conference of students and young scientists.* Dnipropetrovsk, 2013, pp. 421–422.

11. NPAOP 10.0 – 1.01 – 05. *Pravila bezpeki u vugl'nih shahtah* [Your safety in mines. 10.0–1.01–05], Lugansk, 2005, *Kopicentr Publ.*, 196 p.

12. Bertil Oberg. Computer-controller ore transformation at the LKAB mine in Kiruna, 1979, Sweden *Information of ASEA*. 212 p.

13. Butt Yu.F., Gryaduschiy V.B., Debelyj V.L., Koval A.N., Furman A.L. *Shahtnyiy podzemnyiy transport: spravochnoe izdanie. Shahtnyiy lokomotivnyiy i relsovyiy transport* [Mine underground transport: reference book. Mine locomotive and rail transport], Donetsk, *VIK Publ.*, 2009, Vol. 1, 481 p.

14. Rozenfeld V. E., Isaev I. I., Sidorov N. K., Ozerov M. S. *Teoriya elektricheskoy tyagi* [Theory of electric traction], Moscow, *Transport Publ.*, 1995, 294 p.

Надійшла до друку 30.04.2015.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Сінолиций А. Ф.*

У статті наведено аналіз та оцінка якісних показників і особливостей функціонування існуючих пристроїв контролю температури і вимірювачів швидкості руху рудничних електровозів, які використовуються в електромеханічних системах з тяговими двигунами постійного струму з послідовним збудженням на сучасних шахтах. Авторами встановлено основні причини їх низької надійності. Запропоновано спосіб безконтактного управління і захисту тягових двигунів від неприпустимого перевищення рівня температури в камерах, який вимагає створення відповідних датчиків температури. Розглянуто питання контролю швидкості рудничних електровозів з метою підвищення безпеки праці гірників на підземному транспорті. Проаналізовано існуючі прилади, які безпосередньо або опосередковано пов'язані з обертовими елементами електровоза. Авторами запропоновано спосіб безконтактного контролю і захисту тягових двигунів від перевищення температури і бездатчиковий вимірювач швидкості руху рудничного електровоза, функціонування якого базується тільки на електричних параметрів тягових електричних двигунів.

Ключові слова: тяговий двигун; електровоз; контроль; захист; надійність; температура; швидкість; датчик; вимірювач; пошкодження.

УДК 622.625.28

О. Н. СИНЧУК, Э. С. ГУЗОВ, И. О. СИНЧУК (ГВУЗ «КНУ»), В. О. ЧЕРНАЯ (КрНУ)

ГВУЗ «Криворожский национальный университет», кафедра Автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, Украина, г. Кривой Рог, ул. XXII Партсъезда, 11, тел.: (056) 409-17-30, эл. почта: speet@ukr.net

Кременчугский национальный университет имени М. Остроградского, кафедра Систем электропотребления и энергетического менеджмента, Украина, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (067) 8575375, эл. почта: chornajav@gmail.com

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОСТИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В статье приведены анализ и оценка качественных показателей и особенностей функционирования существующих устройств контроля температуры и измерителей скорости движения рудничных электровозов, которые используются в электромеханических системах с тяговыми двигателями постоянного тока с последовательным возбуждением в современных шахтах. Авторами установлены основные причины их

© Сінчук О. М. та ін., 2015

низкой надежности. Предложен способ бесконтактного управления и защиты тяговых двигателей от недопустимого превышения уровня температуры в камерах, который требует создания соответствующих датчиков температуры. Рассмотрены вопросы контроля скорости рудничных электровозов с целью повышения безопасности труда горнорабочих на подземном транспорте. Проанализированы существующие скоростемеры, которые напрямую или косвенно связаны с вращающимися элементами электровоза. Авторами предложен способ бесконтактного контроля и защиты тяговых двигателей от превышения температуры и бездатчиковый измеритель скорости движения рудничного электровоза, функционирование которого основывается только на электрических параметрах тяговых электрических двигателей.

Ключевые слова: тяговый двигатель; электровоз; контроль; защита; надежность; температура; скорость; датчик; измеритель; повреждения.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Синолицы́й А. Ф.*

UDC 622.625.28

O. N. SINCHUK, E. S. GUZOV, I. O. SINCHUK (SIHE «KNU»), V.O. CHORNA (KrNU)

State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Department of Automatic Electromechanic System in Industry and Transport, Ukraine, Krivoy Rog, st. XXII Parts'ezda, 11, tel.: (056) 409-17-30, e-mail: speet@ukr.net

Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University, Assistant of Department of Systems of Power Consumption and Power Management, Ukraine, Kremenchuk, st. Pervomayskaya, 11, tel.: (067) 85753756 e-mail: chornajav@gmail.com

TO THE QUESTION OF THE COMPLEXITY OF THE CONTROL OPERATION PARAMETERS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF MINE ELECTRIC LOCOMOTIVES

Analysis and evaluation of quality indicators and functioning of existing control devices and temperature gauges speed mine electric locomotives, which are used in Electromechanical systems, traction motors DC series excitation in modern mines that are listed in the article. The authors found the main reasons for their low reliability. The method of non-contact control and protection of traction motors from impermissible exceeding of the temperature level in the cells, which requires creating the appropriate temperature sensors was proposed. The issues of speed control mine electric locomotives with the aim of improving health and safety of miners in underground transport were considered. The authors reviewed existing speedometers that are directly or indirectly connected with the rotary elements of the locomotive. The authors proposed a method for the contactless control and protection of traction motors from overheating and sensorless meter speed mine locomotive, the operation of which is based only on the electrical parameters of the electric traction motors.

Keywords: traction engine; locomotive; control; protection; safety; temperature; speed; sensor; meter; damage.

Internal reviewer *Sichenko V. G.*

External reviewer *Sinolytsiy A. F.*