

УДК 622. 625. 5

© О.В. Денищенко, С.Є. Барташевський

## **ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВО-ГАЛЬМІВНИХ ПОКАЗНИКІВ ШАХТНОГО ЛОКОМОТВНОГО ТРАНСПОРТУ ЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

© O.Denyshchenko, S.Bartashevskyi

### **INCREASE OF TRACTION AND BRAKING PARAMETERS OF MINE LO- COMOTIVE TRANSPORT BY ELECTRIC METHODS**

Проведено аналіз сучасного стану шахтного локомотивного транспорту та виділено основні чинники, що впливають на стабільність його роботи. Запропоновані технічні рішення, що дозволяють підвищити тягові і гальмівні характеристики електровозів і, за рахунок цього, збільшити продуктивність та безпеку експлуатації підземного транспорту.

Проведен анализ современного состояния шахтного локомотивного транспорта и определены основные факторы, влияющие на стабильность его работы. Предложены технические решения, позволяющие повысить тяговые и тормозные характеристики электровозов и, за счет этого, увеличить производительность и безопасность эксплуатации подземного транспорта.

**Вступ.** Сучасний стан теплоенергетичної галузі України потребує суттєвого зростання видобутку вугілля на вітчизняних шахтах, багато з яких або вже вичерпали свої запаси палива, або знаходяться на межі цього. Виходом з такого становища є освоєння нових запасів на більших глибинах та розширення меж шахтних полів, що й спостерігається на ряді підприємств галузі. На сучасному етапі розвитку гірничої техніки і технології очисні вибої діючих шахт оснащуються вітчизняними і зарубіжними механізованими комплексами нового покоління. В зв'язку з цим для своєчасного забезпечення фронту очисних робіт тільки на шахтах Західного Донбасу необхідно щорічно проводити більше ста кілометрів дільничних підготовчих виробок із складним профілем шляху і змінним кутом нахилу. Проте засоби і схеми допоміжного транспорту, які використовуються при цьому, не забезпечують необхідні темпи комбайнового проведення виробок і безпеку робіт. Більше того, впроваджуючи високопродуктивні прохідницькі комбайни нового технічного рівня, шахти Західного Донбасу, як і раніше, орієнтуються на традиційні види транспорту – електровози і канатну кінцеву відкатку для переміщення гірської маси і доставки вантажів у підготовчі вибої.

Недосконалість діючих схем транспорту особливо відчувається на шахтах, що дороблюють розвідані запаси вугілля біля кордонів шахтних полів. Зазначимо, що останнім часом для стабільно працюючих шахт Західного Донбасу проблеми, які пов'язані з доробкою запасів вугілля, вирішуються шляхом продовження життєвого циклу шахт за рахунок розширення меж шахтного поля

або об'єднання декількох шахт у шахтоуправління для спільного відпрацювання запасів вугілля, що залишилися. Проте з віддаленням гірничих робіт до меж шахтних полів значно знижується надійність технологічних схем транспортування вугілля і породи по дільничних підготовчих виробках.

При наявності непрямої ділянки шляху в подібних ситуаціях у ланцюзі основного вантажопотоку значно збільшується кількість конвеєрних установок, а при виконанні гірничопідготовчих робіт традиційні засоби допоміжного транспорту експлуатуються за межами ефективного їх застосування, бо практично вичерпали можливість свого подальшого вдосконалення[1].

Останнє зумовлено парадоксальною ситуацією, яка склалася в системі вугільного машинобудування – значне підвищення навантажень на транспортні виробки і повна відсутність високопродуктивного та надійного транспортного устаткування з високою адаптивною спроможністю.

Хронометражними спостереженнями встановлено, що підготовчі вибої, які оснащено енергоємними прохідницькими комбайнами, значний час не працюють через відсутність взаємної ув'язки параметрів принципів транспортних схем з гірничо-геологічними умовами родовища, що розробляється, та гірничо-технічними особливостями експлуатації гірничотransпортних машин і прохідницького обладнання.

Зумовлено це тим, що для доставки матеріалів і устаткування, а також для вивезення гірської маси з прохідницьких вибоїв і виробок, що ремонтуються, в типових проектних рішеннях, як правило, передбачаються рейкові види транспорту – локомотивна або однокінцева канатна відкатки.

Рекомендовані нормативними документами технологічні схеми і засоби допоміжного транспорту не адаптовані до умов експлуатації у виробках зі значно змінним профілем шляху, характерним для шахт Західного Донбасу. Більше того, шахтні локомотиви АМ-8Д, що традиційно застосовуються на шахтах регіону, практично зняті з виробництва, тому за відсутності альтернативи проблема своєчасного забезпечення очисних і підготовчих вибоїв допоміжними матеріалами й устаткуванням стає дуже важливою, а для її вирішення необхідно проводити роботи з поліпшення тягових та гальмівних властивостей шахтних локомотивів.

**Метою** роботи є розширення сфери використання шахтного електровозного транспорту, підвищення його продуктивності, безпеки експлуатації на основі розробки оригінальних технічних рішень із застосуванням нових фізичних ефектів.

**Основний матеріал та результати дослідження.** Застосування магнітних сил для поліпшення показників призначення транспортних установок взагалі і локомотивів зокрема широко відоме. Причому такі дослідження торкаються як їх тягових можливостей, так і гальмових. Однак, враховуючи складні умови експлуатації гірничих транспортних машин (як гірничо-геологічні, так і виробничо-технічні), вважати проблему вирішеною зарано. Тому у роботі пропонуються кілька технічних рішень, які, за думкою авторів, будуть сприяти розши-

ренню сфери застосування шахтної локомотивної відкатки та підвищенню її безпеки.

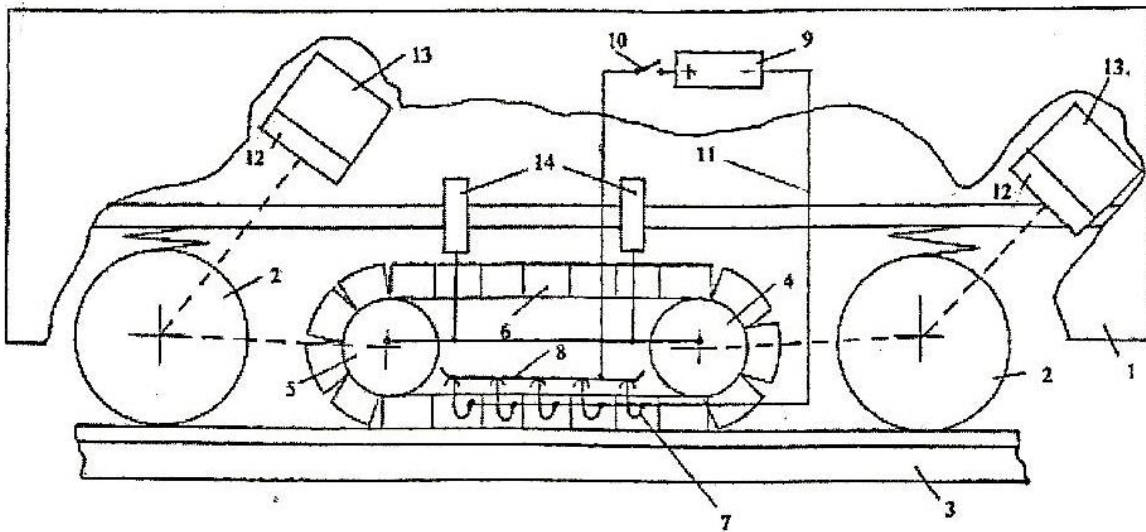


Рис. 1. Принципова схема шахтного локомотива: 1 – рама; 2 – колісна пара;  
1 – рейковий шлях; 4,5 – приводні зірки; 6 – трак гусениці; 7 – електромагніт;

8 – шина; 9 – джерело живлення; 10 – вимикач; 11 – провідник; 12 – редуктор;  
13 – двигун; 14 – циліндр

Шахтний електровоз (рис.1) містить раму 1, колісні пари 2, розташовані на рейковому шляху 3 і з'єднані через редуктори 12 з приводними електродвигунами 13, гусеничний рушій з пов'язаних між собою траків 6, що може приводитися у рух за допомогою приводних зірок 4,5 від двигунів 13 через редуктори 12. Траки 6 містять електромагніти 7, що з'єднані із джерелом живлення 9 через вимикач 10, провідники 11 та контактну шину 8. Для підйому та опускання гусеничного рушія слугують циліндри 14[2].

Машина працює наступним чином. Тягові зусилля від приводних електричних двигунів 13 через редуктори 12 передаються колісним парам 3 і електровоз починає рух по горизонтальній ділянці гірничої виробки.

На початку похилої частини рейкового шляху з завищеним більше 50 % уклоном гусеничний рушій з траків 6 опускається на рейковий шлях 3 за допомогою, наприклад, гідравлічних або пневматичних циліндрів 14, а приводні зірки 4,5 одержують обертальний рух від приводних двигунів 13 через редуктори 12. Одночасно через вимикач 10, провідники 11, контактну шину 8 подається живлення на електромагніти 7 від джерела 9, у якості якого може використовуватися акумуляторна батарея або контактна мережа. При цьому довжина шини 8 прийнята меншою за міжосьову відстань приводних зірок 4,5, що забезпечує припинення живлення електромагнітів 7 до їх відриву від рейкового шляху 3.

При переході електровоза на горизонтальну ділянку рейкового шляху з уклоном менше 50‰ електромагніти 7 знеструмлюються вимикачем 10, гусеничний рушій піднімається циліндрами 14, а передача йому обертового руху від приводних двигунів 13 через редуктори 12 припиняється.

Введення у конструкцію електровоза замкненого гусеничного рушія, що складається з траків, дозволяє одержати додаткове тягове зусилля і, за рахунок, цього підвищити продуктивність відкатки.

Обладнання траків електромагнітами дає змогу задіяти для підвищення сили зчеплення електромагнітну взаємодію між ними та рейковим шляхом, а своєчасне їх знеструмлення дозволяє суттєво знизити потужність привода та витрату їм енергії на відрив траків від рейок і, як наслідок, підвищити продуктивність, довговічність та безпеку.

Відомо, що реалізація сили тяги ведучими колесами (осями) локомотива відбувається завдяки силі тертя між колесами і рейками. Теоретично вважається, що граничне значення цієї сили тертя (сили зчеплення ведучих коліс з рейками) досягається в момент зриву зчеплення, тобто в момент переходу від повної сили тертя спокою до сили тертя ковзання. При визначенні граничної маси поїзду за умовою зчеплення розрахункові значення сумарної сили всіх трьох видів опору руху  $W_c$  (від тертя, складової сили тяжіння, зміни швидкості потяга) і гранична сила тяги локомотива по зчепленню пов'язані виразом

$$W_c \leq F_{c\psi}^{max} = m_d g \Psi,$$

де  $m_d$  – зчепна маса локомотива;  $\Psi$  – коефіцієнт пропорційності, званий коефіцієнтом зчеплення (тертя), який визначається експериментально для моменту початку зриву зчеплення однією з привідних осей локомотива;  $g$  – прискорення сили тяжіння.

Відомий також спосіб одержання і регулювання додаткового тягового зусилля контактного локомотива за рахунок застосування електропластичного ефекту, що виникає у зоні контакту колеса та рейки під час проходження електричного струму і суттєво підвищує зчеплення між ними [3].

Недоліками цього способу є неможливість його застосування на локомотивах з автономним енергопостачанням через відсутність контактної мережі та суцільного струмопровідного рейкового шляху, низькі показники продуктивності, надійності та безпеки через нестабільність величин коефіцієнтів зчеплення та тертя у зонах контакту рейки з колесом та останнього з гальмовою колодкою.

У роботі пропонується вирішення проблеми адаптації способу одержання і регулювання додаткового тягового зусилля локомотива за рахунок застосування електропластичного ефекту до конструкції електровозів з автономним живленням.

На рис. 2 наведено пропонувану у роботі принципову схему пристрою для збільшення тягового та гальмового зусилля шахтного локомотива з автономним електропостачанням [4].

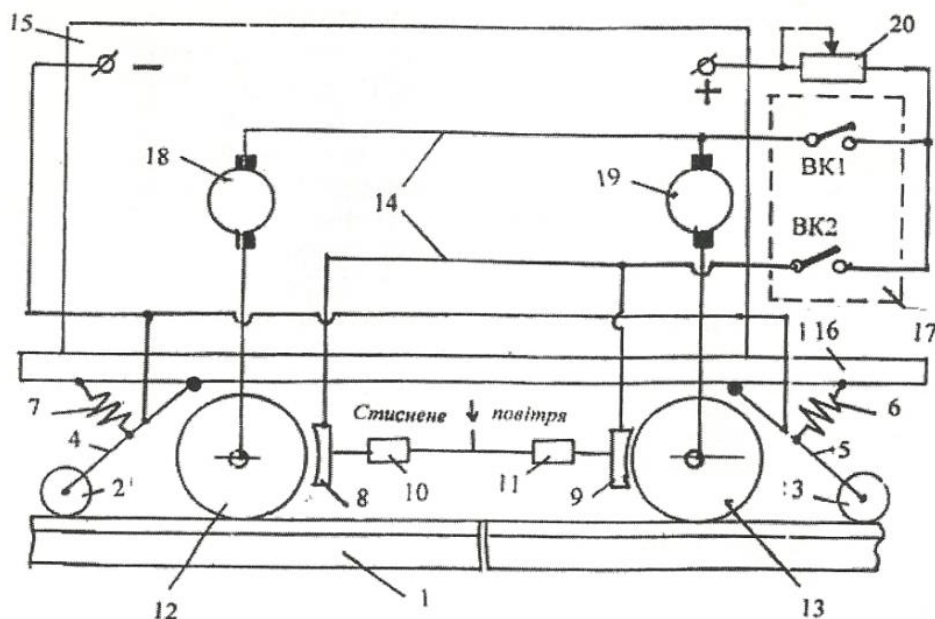


Рис. 2. Шахтний електровоз: 1 – рейковий шлях; 2,3 – котки; 4,5 – тяги; 6,7 – пружини; 8,9 – гальмові колодки; 10,11 – циліндри; 12,13 – колісні пари; 14 – провідник; 15 – джерело струму; 16 – рама; 17 – комутаційний пристрій; 18,19 – двигуни; 20 – реостат

Пристрій для збільшення тягового та гальмового зусилля шахтного локомотива з автономним енергопостачанням включає колісні пари 12 і 13, розташовані на рейковому шляху 1, гальмові колодки 8 і 9, які мають змогу притискатися до робочих поверхонь коліс за допомогою, наприклад пневматичних циліндрів 10,11, котки 2,3, що з'єднані тягами 4,5 та пружинами 6,7 з рамою локомотива 16, за допомогою яких вони притискаються до рейкового шляху 1. При цьому колісні пари 12 і 13, гальмові колодки 8 і 9, котки 2,3 виконують струмопровідними та ізольованими від рами електровоза та одне від одного. Для забезпечення електричної взаємодії між джерелом струму 15, електричними тяговими двигунами 18,19, колісними парами 12,13, гальмовими колодками 8,9 та котками 2,3 слугують провідники 14 і комутаційний пристрій 17 реостат 20.

Пристрій для збільшення тягового та гальмового зусилля шахтного локомотива з автономним енергопостачанням працює наступним чином.

До початку руху струмопровідні котки 2,3 притискають до рейкового шляху 1 за допомогою пружин 4,6, потім вмикають ланцюг живлення двигунів 18,19 за допомогою комутаційного пристрою 17 (контакти BK1). При цьому електричний струм протікає по ланцюгу: “джерело живлення 15(–) – котки 2,3 – рейка 1 – колісні пари 12,13 – тягові двигуни 18,19 – комутаційний пристрій 17 – реостат 20 – джерело живлення 15 (+)”. Під час руху локомотива по рейковому шляху 1, окремі рейки якого не мають електричного з'єднання, він проходить через рейкові стики і тягові двигуни при цьому не втрачають живлення,

оскільки при роз'єднанні любого котка 2 чи 3, струм передається через той, що зберігає контакт з рейкою. Аналогічно здійснюється енергозабезпечення двигунів у разі, коли контакт котка 2 або 3 з рейкою 1 порушується з різних причин.

У разі необхідності здійснення гальмування тягові двигуни 18,19 вмикають за допомогою комутаційного пристрою 17(ВК1), подають повітря під тиском з пневматичної системи у гальмові циліндри 10,11 та вмикають ланцюг живлення гальмових колодок 8,9(ВК2). При цьому струм протікає по ланцюгу: “джерело живлення 15(-) – котки 2,3 – рейка 1 – колісні пари 12,13 – гальмові колодки 8,9 – комутаційний пристрій 17 – реостат 20 – джерело живлення 15 (+)”. Після закінчення процесу гальмування колодки 8,9 знеструмлюють комутаційним пристроєм 17(ВК2), повітря з гальмових циліндрів 8,9 випускають в атмосферу, що виводить гальмові колодки 8,9 з контакту з колісними парами 12,13.

Під час проходження електричного струму через зони контакту колодок 8,9 з колісними парами 12,13, а також останніх з рейковим шляхом 1 виникає електропластичний ефект, що підвищує коефіцієнт тертя між ними, при цьому силу струму регулюють за допомогою реостата 20, забезпечуючи можливість управління тяговою та гальмовою силою транспортного засобу незалежно від стану поверхонь колісних пар і рейкового шляху.

Введення у конструкцію пристрою кількох струмопровідних котків, що притискаються до рейок, дозволяє забезпечити надійний електричний контакт між ними та енергозабезпечення тягових двигунів і гальмових колодок.

Застосування електричного зв'язку між котками, джерелом енергопостачання, колісними парами і гальмовими колодками дозволяє реалізувати електропластичний ефект у зонах контакту колодок з колісними парами, а також останніх з рейковим шляхом, суттєво підвищити тягову і гальмову силу локомотива в цілому і, як наслідок, його продуктивність, надійність та безпеку експлуатації.

Нині практично на усіх типах електровозів традиційно застосовується колісно-колодкове гальмо, оскільки його конструкція проста і відпрацьована. Основний недолік: обмеження гальмового зусилля зчепленням колеса і рейки, а також інтенсивний і нерівномірний знос гальмівної колодки і поверхні катання колеса, що чинить негативний вплив на тягово-гальмівні характеристики локомотива, підвищує динамічні навантаження на нього і верхню будову колій.

Альтернативою традиційним видам механічних гальм можна вважати електромагнітне рейкове гальмо (ЕМРГ), що знайшло застосування в багатьох видах транспорту. Однак просте копіювання відомих конструкцій для роботи на шахтних електровозах не дає бажаних результатів. Це пов'язано, перш за все, з екстремальними умовами експлуатації (вибухонебезпечне середовище, обводненість, запиленість та ін.) і обмеженими габаритами самих машин.

В роботі запропонована конструкція ЕМРГ, розроблена на кафедрі транспортних систем і технологій [5], яка дозволяє підвищити його ефективність і безпеку обслуговування (рис.3).

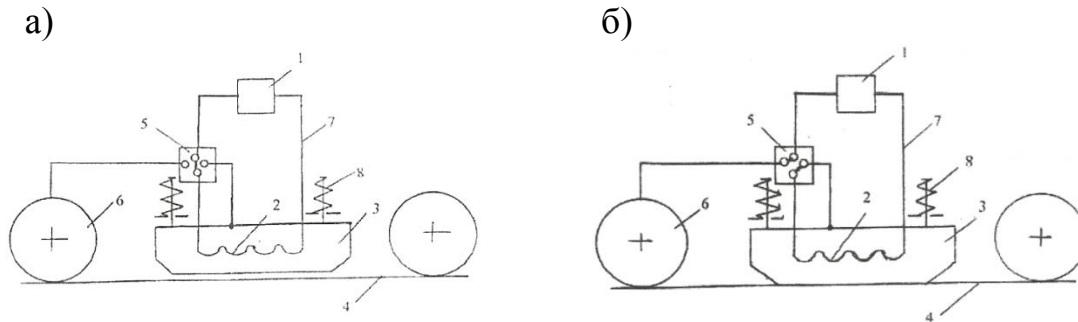


Рис.3. Принципова електрична схема рейкового гальма: а) – у момент вмикання струму; б) – те ж, після контакту магнітопроводу з рейковим шляхом

Рейкове гальмо шахтного локомотива включає джерело електричного струму 1, котушку 2, зв'язану з останнім через комутаційний елемент 5, магнітопровід 3, що має можливість контакту з рейковим шляхом 4, колісні пари 6, електричні провідники 7 та пружини 8, що встановлені між рамою локомотива та магнітопроводом. При цьому в момент гальмування утворюється електричний ланцюг: джерело струму 1 – котушка 2 – магнітопровід 3 – рейка 4 – колісна пара 6 – джерело струму 1.

У разі необхідності гальмування машиніст локомотива вмикає комутаційний елемент 5. При цьому джерело струму 1 через провідники 7 поєднується з котушкою 2, у магнітопроводі 3 виникає магнітне поле, яке долає опір пружин 8, замикається через головку рейки 4 і спричиняє силу притискання магнітопроводу 3 до неї. Після контакту між ними за допомогою комутаційного елементу 5 з'єднують один кінець котушки 2 з корпусом магнітопровода 3, а джерело струму 1 з колісною парою 6. Під час протікання електричного струму у місці контакту магнітопроводу 3 і рейки 4 виникає електропластичний ефект, зростає коефіцієнт тертя і, як наслідок, підвищується гальмова сила. У разі необхідності припинення гальмування котушку 2 знеструмлюють за допомогою комутаційного пристрою 5 і магнітопровід 3 виходить із взаємодії з рейкою 4 під дією сили стиснених пружин 8.

Пропускання електричного струму через контакт полозів магнітопроводу з рейкою забезпечує підвищення коефіцієнта тертя між ними за рахунок виникнення електропластичного ефекту і, тим самим, суттєво збільшує величину гальмової сили.

Запропонована схема з комутаційним елементом дозволяє забезпечити швидкий перехід від режиму звичайного гальмування до режиму підсиленого гальмування.



Застосування запропонованої конструкції дозволить підвищити ефективність гальмової системи локомотива, його продуктивність через збільшення кількості судин у складі та швидкості руху останнього, безпеку експлуатації завдяки зменшенню довжини гальмового шляху.

**Висновки.** У роботі розглянуто сучасний стан гірничого електровозобудування та намічені шляхи його поліпшення, а саме:

– використання для підвищення тягової спроможності локомотивів додаткових електромагнітних тягових пристроїв, у яких контакт колеса з рейкою замінюється взаємодією останньої з гусеницею;

– застосування електропластичного ефекту як дієвого способу збільшення коефіцієнта тертя і тягового та гальмівного зусилля електровозів, причому запропоновані рішення дозволяють користуватися ним як на контактних, так і на акумуляторних машинах.

#### **Перелік посилань**

1. Denyshchenko, O., Posun'ko, L., & Martynenko, A. (2005). Usloviya provedeniya vyrabotok na shahtah Zapadnogo Donbassa. *Naukovij visnik NGU*, (1), 20 – 23.
2. Denyshchenko, O.V., Bartashevskiy, S.Ie., Bartashevskaya, L.I., Kozina, I.V. (2016). Shakhtnyi elektrovoz. Patent No113008, Ukraina.
3. Vorob'yev, D., Tikhomirov, V., & Bagrov G. (2006). Upravlenie protsessom stsepleniya koleasa s rel'som putem vozdeystviya na kontakt elektricheskogo toka i magnitnogo polya. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, (1), 10 – 13.
4. Denyshchenko, O.V., Koptovets, O.M. (2016). Shakhtnyi lokomotyv. Patent No111768, Ukraina.
5. Denyshchenko, O.V., Bartashevskiy, S.Ie., Krasyl'nykova, N.Iu. (2013). Reikove halmo shakhtnoho lokomotyva. Patent No81074, Ukraina.

#### **ABSTRACT**

**Objective.** Experimental and theoretical studies by traction and brake characteristics of mine locomotives carried out by the Department of Transport Systems and Technologies during several years made it possible to obtain reliable information concerning actual state of rail transport. Among other things, data on coefficients of resistance to movement of mine cars and grip of wheels of electric locomotives became a part of the industry standards. However, the studies also showed that reserves concerning the increase in traction and brake efforts for such traditional friction pair as “wheel-rail” have almost been exhausted. Objective of the paper is to wide a range of mine electric locomotive transport; improve its efficiency, operational safety relying upon the development of original technical solutions with the use of new physical effects.

**Methods** - experimental and analytical.

**Finding.** The paper has considered modern state of mine electric locomotive building and outlined paths to improve it, namely: 1) use of additional electromagnetic traction facilities where wheel-rail contact is substituted by the interaction of the latter with track to improve the efficiency of traction of locomotives; 2) use of electroplastic effect as a valid method to increase friction coefficient as well as traction and brake effort of electric locomotives; in this context, the proposed solutions make it possible to use them in terms of both contact and battery equipment.



**The originality.** Innovative designs by the Department of Transport Systems and Technologies of the National Mining University help avoid material weaknesses of modern electric locomotives. The technical solutions are supported by protective papers.

**Practical implications.** Industrial introduction of the facilities makes it possible to improve weight of trains significantly as accelerate them; owing to the fact, it is possible to improve the efficiency of locomotive transport, its operational safety, and reduce its prime cost.

**Keywords:** *mine, railway, locomotive, electric locomotive, brake, current, voltage, resistance, engine, electromagnet, efficiency, safety*

УДК [622.673+622.647]:539.4

© Д.Л. Колосов, О.І. Білоус, Г.І. Танцура, О.М. Воробйова

## **ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗОНИ ЗБУРЕНЬ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГУМОТРОСОВОГО ТЯГОВОГО ОРГАНА**

© D. Kolosov, O. Bilous, G. Tantsura, O. Vorobiova

## **DETERMINATION OF PARAMETERS OF PERTURBATION ZONE OF A STRESS-STRAIN STATE OF A RUBBER-CABLE TRACTIVE BODY**

Досліджено механізм локального впливу різноманітних чинників на напружено-деформований стан плоского гумотросового тягового органа. Отримані результати дозволяють визначати умови прийнятності гіпотези про незалежність дії різних чинників збурень напружено-деформованого стану гумотросового тягового органа з урахуванням його конструкції та механічних параметрів складових елементів. Наведені результати мають бути враховані при проектуванні і експлуатації підйомно-транспортних машин з плоскими тягово-несучими органами.

Исследован механизм локального влияния различных факторов на напряженно-деформированное состояние плоского резинотросового тягового органа. Полученные результаты позволяют определять условия приемлемости гипотезы о независимости действия различных возмущающих факторов на напряженно-деформированное состояние резинотросового тягового органа с учетом его конструкции и механических параметров составляющих элементов. Приведенные результаты должны быть учтены при проектировании и эксплуатации подъемно-транспортных машин с плоскими тягово-несущими органами.

**Вступ.** Плоскі гумотросові канати та стрічки застосовуються як тягові органи на підйомно-транспортних машинах. Конструкція, технічний стан машини, можливі пориви тросів комплексно впливають на напружено-деформований стан (НДС) тягових органів. Відомий НДС дозволяє розробляти заходи їх безпечної експлуатації.