

ГЕОТЕХНІЧНА І ГІРНИЧА МЕХАНІКА, МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 622.625.28

В.В. Проців¹, д-р техн. наук, доц.,
О.В. Новицький¹,
А.І. Самойлов²

1 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: protsiv@ukr.net

2 – Науково-виробнича компанія „Гірничі машини“, м. Донецьк, Україна, e-mail: asamdmz@mail.ru

ПЕРЕВАГИ МАГНІТОРЕЙКОВОГО ДОВАНТАЖУВАЧА НАД РЕЙКОВИМ ГАЛЬМОМ У ШАХТНОМУ ЛОКОМОТИВІ

V.V. Protsiv¹, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor
O.V. Novytskyi¹,
A.I. Samoilo²

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: protsiv@ukr.net

2 – Science and Production Company “Mining Machines”, Donetsk, Ukraine, e-mail: asamdmz@mail.ru

ADVANTAGES OF MAGNETIC LOADER OVER RAIL BRAKES ON MINE LOCOMOTIVE

Мета. Метою роботи є моделювання процесу гальмування шахтного локомотива АРП10РВ колісно-колодковими гальмами сумісно з магніторейковими гальмами або довантажувачами.

Методика. Складання рівнянь Лагранжа другого роду, які після перетворення в диференційні рівняння другого порядку розв’язувалися в математичному пакеті Wolfram Mathematica 8 з отриманням величини гальмівного шляху.

Результати. Проведене теоретичне дослідження можливості використання магніторейкових гальм двовісного локомотива АРП10РВ масою 10 т. зі складом навантажених вагонеток у якості магніторейкового довантажувача. Доведено, що підвіска секцій магніторейкового довантажувача на тягах до поздовжньої балки, що спирається на букси першої та другої колісних пар під кутами, близькими до вертикалі, дозволяє довантажити колеса локомотива й використати більш високе значення коефіцієнта зчеплення для реалізації сил гальмування шахтного локомотива, ніж величина коефіцієнта тертя ковзання секції магніторейкового гальма по поверхні кочення рейки.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає у використанні рівнянь Лагранжа другого роду для побудови математичної моделі гальмування шахтного потяга, локомотив якого обладнаний магніторейковим довантажувачем, задля отримання величини гальмівного шляху.

Практична значимість. З’являється можливість прораховувати кількість навантажених вагонеток, які шахтний локомотив може транспортувати вниз по небезпечній ділянці рейкової колії, використовуючи магніторейковий довантажувач.

Ключові слова: шахтний локомотив, гальма, рівняння Лагранжа, коефіцієнт зчеплення

Вступ. Використання на шахтному локомотиві колісно-колодкових гальм, що реалізують гальмівну силу в точці контакту колеса й рейки, обмежено як коефіцієнтом зчеплення [1], так і нормальними реакціями рейок під його колесами, які в даний час визначаються лише зчіпною масою локомотива. Вугільний пил, волога й агресивне повітряне середовище не дозволяють гарантовано розраховувати на високі значення цього коефіцієнта, тому конструктори та експлуатаційники вимушені закладати в розрахунки мінімальну величину коефіцієнта зчеплення, яка може виявитися такою, що діє під час екстреного гальмування складу навантажених вагонеток на найбільшому ухилі колії (50 %) [2] або хоч на керівному (близько 35 %). Особливо важливо це при

використанні важких локомотивів, що мають значні можливості по тязі (особливо з використанням пісочниць барабанного типу [3]), проте не здатних забезпечити гарантовану зупинку складу навантажених вагонеток на керівному ухилі.

Метою роботи є моделювання процесу гальмування шахтного локомотива АРП10РВ колісно-колодковими гальмами сумісно з магніторейковими гальмами або довантажувачами. Завданням роботи є теоретичне визначення можливості обладнання серійного локомотиву АРП10РВ магніторейковими довантажувачами для підвищення ефективності роботи його колісно-колодкових гальм шляхом розв’язання системи рівнянь Лагранжа другого роду.

Виклад матеріалу дослідження. Дослідження проводилися на динамічній моделі [4] гальмування

локомотива АРП10РВ із составом навантажених вагонеток на ідеально рівній колії з сухими чистими рейками (коефіцієнт зчеплення 0,165) і максимальним подовжнім ухилом (до 50 %). Динамічна модель дозволяє розраховувати параметри руху локомотива в режимі гальмування колісно-колодковими й рейковими гальмами. Тут і далі для позначення змінних прийняті наступні основні та додаткові нижні індекси, що визначають приналежність змінної до об'єкта математичної моделі: n – до колісних пар, пружних і дисипуючих елементів (осьових редукторів), причому l позначена ближня до голови потягу колісна пара; n_j – до пружних і дисипуючих елементів, причому l позначена ближня до голови потягу колісна пара; t – до валу тягового двигуна, s – до колісно-колодкового гальма, встановленого на колесі ($s = 1, 2$), при цьому l позначені ліві в напрямку до голови потягу колодки; o – до основи (рейкова колія); L – до лівої рейки; R – до правої рейки.

Чисельне розв'язання системи з 33 диференціальних рівнянь другого порядку, складене з незалежних координат $x, x_{in}, \phi_{in}, x_c, z_c, y_c, z, z_{in}, z_{0in}, \theta, \phi, \psi, z, y_{0in}, x_{mij}$, виконувалося в програмі Wolfram Mathematica 8, при цьому знаходили мінімальний гальмівний шлях, на якому зупиниться потяг у разі прикладання максимально можливого гальмівного моменту при русі по ідеально рівній колії та колії з одиничними короткими локальними нерівностями у вигляді сходинок рейкової колії. Для визначення гальмівного шляху шахтного потягу та часу його гальмування використовують програмний продукт 5DKP.nb [5], виконаний у програмному комплексі Wolfram Mathematica 8. Після запуску програми в розділі „Константи“ змінюють основні вихідні дані локомотива й причіпної частини потяга, характеристики забрудненості рейок, а в додатковому файлі Path Params.xls вказують висоти сходинок рейкової колії. Перед стартом у розділі „Вхідні параметри“ необхідно вказати максимальний час розрахунків і початкову точку шляху, над якою розміщується центр маси рами секції локомотива в момент початку розрахунків (25 м).

Шляхом моделювання процесів гальмування шахтного потяга, що складається з локомотива АРП10РВ та восьми навантажених вагонеток ВГ3,3, на ідеально рівній рейковій колії з подовжнім ухилом 48 %, розраховували його гальмівний шлях при використанні колісно-колодкового гальма разом із магніторейковим, або із магніторейковим довантажувачем, що має нахил тяг підвіски величиною 15°.

Перш за все, слід визначити, що такий потяг неможливо зупинити лише колісно-колодковими гальмами локомотива навіть на чистих сухих рейках, коли коефіцієнт зчеплення дорівнює 0,17. У разі потреби екстреного гальмування, потяг почне неконтрольоване прискорення і, у решті решт, зійде з рейок, що призведе до важких наслідків (значні матеріальні збитки від руйнування рухомого складу та кріплення гірничих виробок й, навіть, людські жертви). Прикладання ж

моменту, що перевищує 1 200 Н·м, заблокує колеса локомотива та ще більш ускладнить ситуацію.

При використанні разом із колісно-колодковим ще й магніторейкового гальма, що розміщене між колесами локомотива з обох його боків, з'являється можливість зупинити вказаний потяг, але це займе аж 102 секунди, а дійсний гальмівний шлях становить 163 м, як це видно на рис. 1. Такий результат не можна вважати прийнятним, оскільки, згідно з правилами безпеки вугільних шахт [2], максимальний гальмівний шлях вантажного потяга не повинен перевищувати 40 м. Гальмівний момент (рис. 1, а) дорівнює 1 274 Н·м, а при його перевищенні виникне юз.

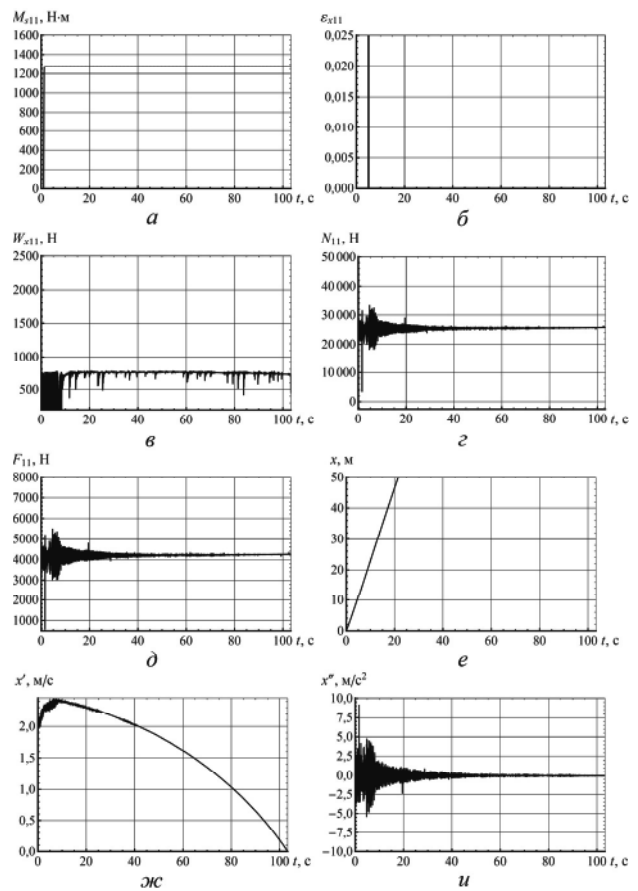


Рис. 1. Графіки параметрів гальмування колісно-колодковими гальмами при сумісному їх використанні з магніторейковими: а – гальмівний момент M_{s11} на першій колісній парі тягової секції; б – відносне ковзання ε_{11} лівого колеса першої колісної пари локомотива; в – сила опору руху W_{s11} того ж колеса; г – реакція рейки N_{11} під тим самим колесом; д – гальмівна сила F_{11} на тому ж колесі; е – переміщення x рами локомотива; ж – швидкість x' рами локомотива; и – прискорення x'' рами локомотива

Двосекційні магніторейкові гальма шахтного локомотива реалізують додаткову гальмівну силу (що стримує потяг), яка збільшується з падінням швидкості по мірі зупинки потяга, як це видно на рис. 2, а, аж до 25 кН.

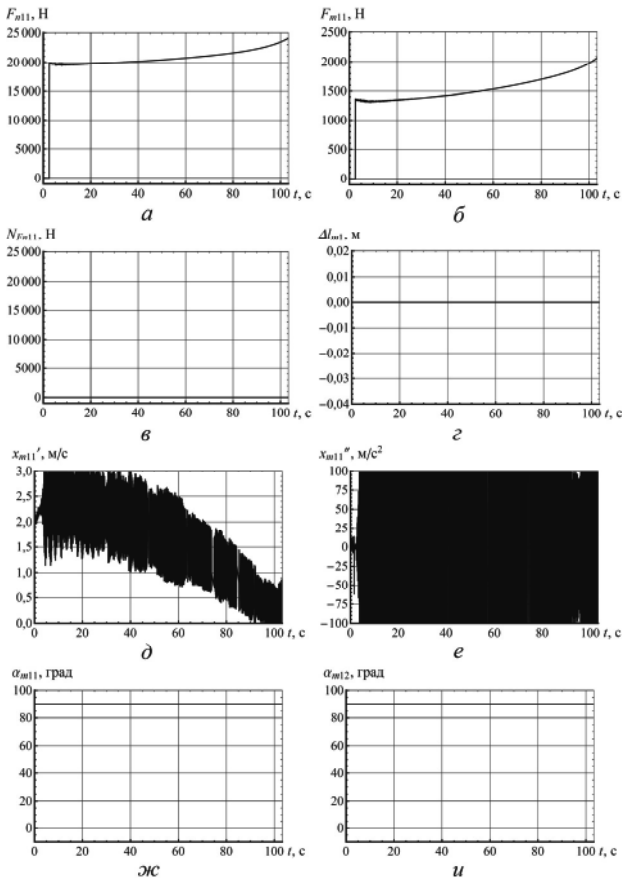


Рис. 2. Графіки параметрів гальмування магніторейковими гальмами при сумісному їх використанні з колісно-колодковими: а – сила магнітного притягання F_{n11} на першій лівій секції магніторейкового гальма локомотива; б – гальмівна сила F_{m11} на тому ж колесі; в – довантажуюча сила N_{n11} на тому ж колесі; г – взаємні переміщення Δl_{m1} секцій лівого магніторейкового довантажувача; д – швидкість x'_{m11} першої лівої гальмівної секції; е – прискорення x''_{m11} тієї ж гальмівної секції; ж – кут нахилу α_{m11} першої лівої гальмівної секції; и – кут нахилу α_{m12} другої лівої гальмівної секції

Якщо ж локомотив буде обладнаний показаним на рис. 3 магніторейковим довантажувачем, конструкція якого дозволяє з'єднати дві його секції 1 з вертикально-поступальною парою 2 поздовжніх переміщень, а також підвіскою їх двома тягами 3 під кутом до вертикалі на поздовжній балці, що, у свою чергу, спира-

ється на відповідні букси 4 першої та другої колісних пар 5, то гальмівний шлях може бути суттєво скорочений.

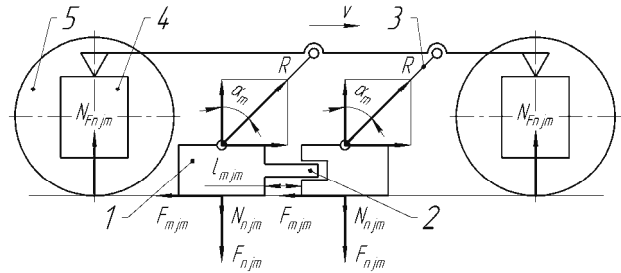


Рис. 3. Розрахункова схема роботи секції магніторейкового довантажувача

Це стає можливим завдяки появі довантажуючої сили на колеса локомотива N_{Fnjm} , що змушує збільшуватися реакцію рейки під колесом. Її величину знайдемо наступним чином. Складемо векторне рівняння Ньютона в проекціях на осі.

$$R \cos \alpha_m - F_{njm} - N_{njm} = 0;$$

$$R \sin \alpha_m - F_{mjm} = 0.$$

Враховуючи, що $F_{mjm} = f_m F_{njm}$, а $N_{Fnjm} = R \cos \alpha_m$, тоді

$$R = \frac{f_m F_{njm}}{\sin \alpha_m};$$

$$N_{njm} = R \cos \alpha_m - F_{njm};$$

$$N_{njm} = f_m F_{njm} \operatorname{ctg} \alpha_m - F_{njm};$$

$$N_{Fnjm} = f_m F_{njm} \operatorname{ctg} \alpha_m,$$

де R – реакція в тязі, Н; α_m – кут нахилу тяги, град; F_{njm} – сила магнітного притягування секції магніторейкового гальма, Н; N_{njm} – реакція рейки під секцією магніторейкового гальма, Н; F_{mjm} – гальмівна сила секції магніторейкового гальма, Н; f_m – коефіцієнт тертя ковзання секції магніторейкового гальма по поверхні кочення рейки.

Якщо кут нахилу тяг α_m буде дорівнювати 15° , то динамічні параметри гальмування потяга суттєво зміняться. Так з'явиться можливість збільшити гальмівний момент на колісно-колодковому гальмі до 1 539 Н·м, як це видно на рис. 4, а. Нормальна реакція рейки під колесом зросте з 25 800 Н до 34 000 Н

(рис. 4, з), а, відповідно, підвищиться й гальмівна сила на колесі з 4 300 Н до 5 600 Н (рис. 4, д). Гальмування шахтного потяга з вісьмома вагонами на ухлоні 48 ‰ стає можливим, оскільки дійсний гальмівний шлях складе лише 35 м, а процес зупинки займе тільки 26,2 с.

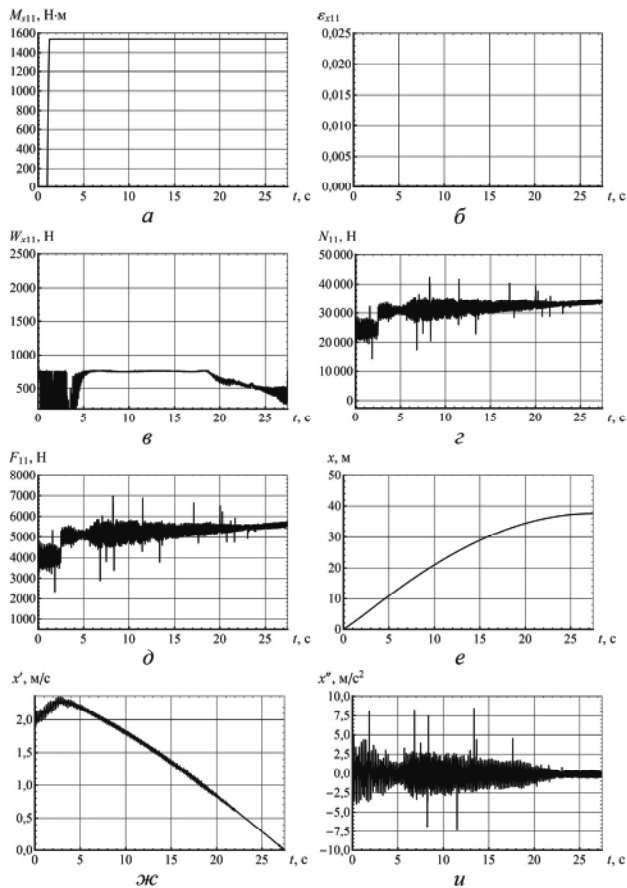


Рис. 4. Графіки параметрів гальмування колісно-колодковими гальмами при їх сумісному використанні з магніторейковими довантажувачами (див. позначення на рис. 1)

Таке значне покращення параметрів гальмування стало можливим лише завдяки використанню магніторейкового гальма в якості магніторейкового довантажувача. Для цього кут нахилу тяги, що передає його гальмівну силу, змінено з 90° (горизонтально) до 15° (близько до вертикалі), тому й з'явилася довантажуюча колесо локомотива сила $N_{Fn jm}$, що становить 7 700 Н (рис. 5, а).

Ефект від дії магніторейкового довантажувача не завжди є таким наочним. Наприклад, при транспортуванні того ж складу вагонеток на ухлоні колії в 35 ‰ дійсний гальмівний шлях при використанні колісно-колодкового гальма разом з магніторейковим складає 17,3 м, а із довантажувачем лише 12,7 м. В обох випадках це не перевищує дозволених 40 м.

Та все ж таки зростання нормальної реакції рейки під колесом ще й підвищує значення коефіцієнта стійкості від сповзання реборди колеса на рейку, що

робить роботу шахтного локомотивного транспорту більш безпечною.

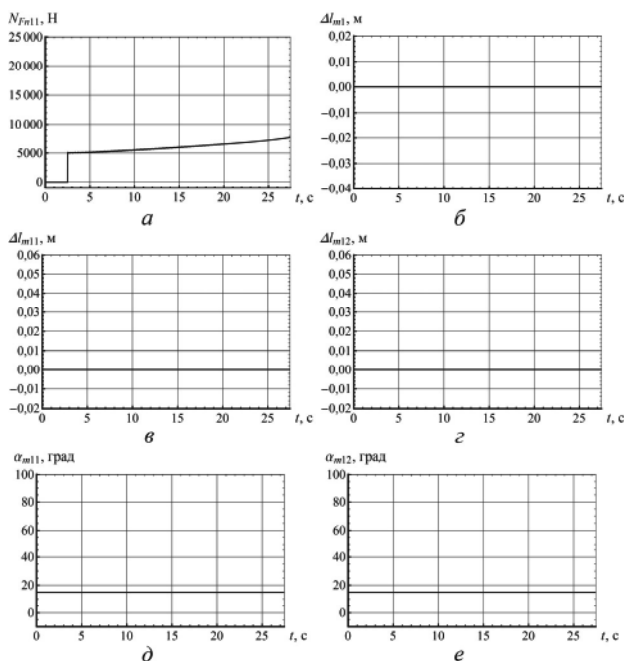


Рис. 5. Графіки параметрів гальмування магніторейковими довантажувачами при їх сумісному використанні з колісно-колодковими гальмами (позначення на рис. 2)

Але в процесі роботи довантажувача з'явилися великі поздовжні динамічні коливання швидкості та прискорення рами локомотива (рис. 4, д, з), все ж не перевищують відповідні параметри при гальмуванні магніторейковими гальмами сумісно з колісно-колодковими, коли до них прикладається максимально можливий гальмівний момент, перевищення якого викликає зрив зчеплення та блокування коліс.

Висновки. За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки.

1. Використання магніторейкового гальма в якості магніторейкового довантажувача на двовісних локомотивах АРП10РВ дає можливість значно ефективніше використовувати можливість колісно-колодкового гальма за рахунок збільшення нормальної реакції рейки під колесом.

2. При деяких обставинах співвідношення кількості транспортованих вагонеток, забрудненості та ухилу рейкової колії використання магніторейкового довантажувача на шахтних локомотивах може дати значний ефект при визначенні дійсного гальмівного шляху. Наприклад, при транспортуванні вісьмох навантажених вагонеток ВГ3,3 по ухилу колії 48 ‰ гальмівний шлях скорочується майже в 4 рази с 162 до 35 м.

3. Зростання нормальної реакції рейки під колесом ще й підвищує значення коефіцієнта стійкості від сповзання реборди колеса на рейку, що робить експлуатацію шахтного локомотивного транспорту більш безпечною.

Список літератури / References

1. Таран І.А. Влияние промежуточной среды на взаимодействие тормозной колодки и колеса / И.А. Таран // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1997. – №2 (Спец. выпуск). – С. 33–35.

Taran, I.A. (1997), "Influence of intermediate environment on contiguity of skid and wheel", *Metallurgical and mining industry*, Dnipropetrovsk, no 2, pp. 33–35.

2. Транспорт шахтний локомотивний. Перевезення людей і вантажів у виробках з ухилом колії від 0,005 до 0,050: СОУ 10.1.001.85790.007:2006. – Затв. Миву-глемпромом України 06.10.2006. – Вид. офіц. – К.: 2006. – 47 с.

Mine locomotive transport. Transportation of people and loads in workings with the inclination of rail from 0.005 to 0.050: SOU 10.1.001.85790.007:2006. – approved by Minvuhleprom of Ukraine 06.10.2006, Official edition, Kyiv.

3. Блохин С.Е. Пути повышения тормозных возможностей шахтных локомотивов / С.Е. Блохин // *Збірник наукових праць НГУ*. – 2011. – №36. – Т. 2. – С. 63 – 67.

Blokhin S.Ye. (2011), "Ways of increase of braking possibilities of mine locomotives", *Collection of scientific works of National Mining University*, Dnipropetrovsk, no.36, Vol. 2, pp. 63–67.

4. Проців В.В. Динамічна модель гальмівних систем, що реалізують гальмівну силу в контактні колеса та рейки / В.В. Проців, О. Є. Гончар // *Збірник наукових праць НГУ*. – Дніпропетровськ, 2010. – №34. – Т. 2 – С. 160–171.

Protsiv, V.V. and Gonchar, O.Ye. (2010), "Dynamic model of the braking systems which realize brake force in the contact of wheel and rail", *Collection of scientific works of National Mining University*, Dnipropetrovsk, no.34, Vol. 2, pp. 160–171.

5. Проців В.В. Наукове обґрунтування нових технічних рішень з удосконалення гальмівної системи шахтного шарнірно-зчленованого локомотива : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.06 „Гірничі машини“ / Проців В.В. – Дніпропетровськ, 2011. – 36 с.

Protsiv, V.V. (2010), "Scientific substantiation of technical decisions on improvement of the brake system of the mine joint-jointed locomotive", Abstract of Dr. Sci. (Tech.) dissertation, Dept. Mining Engineering, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Цель. Целью работы является моделирование процесса торможения шахтного локомотива АРП10РВ колесно-колодочными тормозами совместно с магнитнорельсовыми тормозами или догрузателями.

Методика. Составление уравнений Лагранжа второго рода, которые после преобразования в дифференциальные уравнения второго порядка решались в математическом пакете Wolfram Mathematica 8 для определения величины тормозного пути.

Результаты. Проведено теоретическое исследование возможности использования магнитнорельсовых тормозов в качестве магнитнорельсового догру-

жателя двухосного локомотива АРП10РВ массой 10 т с составом нагруженных вагонеток. Доказано, что подвеска секций магнитнорельсового догрузателя тягами на продольной балке, опирающейся на буксы первой и второй колесных пар, под близкими к вертикали углами, позволяет догрузить колеса локомотива и использовать более высокое значение коэффициента сцепления для реализации сил торможения шахтного локомотива, чем величина коэффициента трения скольжения секции магнитнорельсового тормоза по поверхности катания рельса.

Научная новизна. Научная новизна заключается в использовании уравнений Лагранжа второго рода. Для построения математической модели торможения шахтного поезда, локомотив которого оборудован магнитнорельсовым догрузателем, для определения величины тормозного пути.

Практическая значимость. Появляется возможность просчитывать количество нагруженных вагонеток, которые шахтный локомотив может транспортировать вниз по опасному участку рельсовой колеи, используя магнитнорельсовый догрузатель.

Ключевые слова: шахтный локомотив, тормоз, уравнения Лагранжа, коэффициент сцепления

Purpose. To simulate the process of braking of mine locomotive by АРП10РВ wheel shoe brakes together with magnetic brakes or loaders.

Method. Composition of equalizations of Lagrange of the second degree, which after transformation into differential equalizations of the second degree have been solved by means of the mathematical software Wolfram Mathematica 8, has been used to determine the length of braking distance.

Results. Theoretical research of possibility of implementation of magnetic brakes as the magnetic loader of biaxial locomotive АРП10РВ (mass of 10 tons) with rolling stock of the loaded trolleys has been conducted. It has been proved that suspension of magnetic loader sections by tractions on a stringer leaning against bearing support of the first and the second wheel pairs, under angles close to vertical, allows finishing loading of locomotive wheels and achieving higher rate of coefficient of rolling friction for realization of mine locomotive braking forces than the rate of friction coefficient of magnetic brake section sliding by the rolling surface of the rail.

Originality. Equalizations of Lagrange of the second degree has been used for construction of mathematical model of mine train braking with the locomotive which has magnetic loader, and determination of the length of braking distance.

Practical value. The research results allow us to count the number of the loaded trolleys which can be transported by a mine locomotive with magnetic loader through the dangerous section of rail way.

Keywords: mine locomotive, brake, Lagrange equalization, coefficient of rolling friction

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.Є. Блохіним. Дата надходження рукопису 19.05.12.