

УДК 622.625.28

В.В. Проців¹, д-р техн. наук, доц.,
А.О. Бондарев¹,
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

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНОГО ДВОВІСНОГО ЛОКОМОТИВА НА РЕЙКОВІЙ КОЛІЇ

V.V. Protsiv¹, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor,
A.O. Bondariev¹,
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

DESIGN OF BRAKING PROCESS OF MINE DIAXONIC LOCOMOTIVE ON RAIL WAY

Мета. Моделювання процесу гальмування шахтного локомотива АРП10РВ колісно-колодковими гальмами на колії з різним коефіцієнтом зчеплення та сходінками рейкових стиків шляхом прикладення гальмівних моментів, вплив яких призводить до зриву зчеплення в точці контакту колеса та рейки.

Методика. Складання рівнянь Лагранжа другого роду, які після перетворення в диференційні рівняння другого порядку розв'язувалися в математичному пакеті Wolfram Mathematica 7 з отриманням величини гальмівного шляху.

Результати. Проведене теоретичне дослідження впливу забрудненості та сходінок шахтної рейкової колії на процес гальмування двовісного локомотива АРП10РВ масою 10 т. зі складом навантажених вагонеток пристроями, що реалізують гальмівну силу в точці контакту колеса з рейкою. Навіть незначні дефекти на рейкових коліях здатні істотно впливати на якість процесу гальмування двовісного локомотива АРП10РВ зі складом навантажених вагонеток. Визначено, що вплив сходінки рейкового стику на гальмівну силу в контактні колеса з рейкою двовісного локомотива не такий значний, як у чотиривісного шарнірно-зчленованого такої самої зчпної маси.

Наукова новизна. Полягає у використанні в розрахунках гальмівного шляху потяга заздалегідь вимірних параметрів рейкової колії, таких як забрудненість доріжок катання, повздовжній та поперечний ухил, сходінки рейкових стиків та інше.

Практична значимість. З'являється можливість прораховувати кількість навантажених вагонеток, що шахтний локомотив може транспортувати з гори по небезпечній ділянці рейкової колії з відомими геометричними характеристиками.

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

Вступ. Використання на шахтних локомотивах гальмівних пристроїв, що реалізують гальмівну силу в точці контакту колеса та рейки, у даний час обмежено коефіцієнтом зчеплення між колесом і рейкою, істотно залежним від забрудненості рейкової колії [1]. Вугільний пил, волога й агресивне повітряне середовище не дозволяють гарантовано розраховувати на його високі значення, 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 (від 30 до 35 %). Особливо важливе 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. Дослідження проводилися на динамічній моделі [4] гальмування локомотива АРП10РВ

зі складом навантажених вагонеток на ідеально прямій рейковій колії з подовжнім ухилом.

Метою роботи є моделювання процесу гальмування шахтного локомотива АРП10РВ колісно-колодковими гальмами на колії з різним коефіцієнтом зчеплення та сходінками рейкових стиків шляхом прикладення гальмівних моментів, вплив яких призводить до зриву зчеплення в точці контакту колеса та рейки. Завданням роботи є теоретичне визначення можливості обладнання серійного локомотива АРП10РВ колісно-колодковими гальмами з осьовим замиканням шляхом урахування нелінійної характеристики коефіцієнта зчеплення при розв'язанні системи рівнянь Лагранжа другого роду.

Виклад матеріалу дослідження. Дослідження проводилися на динамічній моделі [4] гальмування локомотива АРП10РВ зі складом навантажених вагонеток на рейковій колії з подовжнім ухилом на ідеально рівній колії. Розрахункова схема локомотива АРП10РВ наведена на рис. 1.

Динамічна модель дозволяє враховувати вплив коротких (локальних) нерівностей рейкової колії на параметри руху локомотива в режимі гальмування

пристроями з обмеженим фрикційним моментом на колесах. 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 1 позначена ближня до голови потягу колісна пара; nj – до пружних і дисипуючих елементів, причому 1 позначена ближня до голови потягу колісна пара; t – до валу тягового двигуна; s – до колісно-колодкового гальма, встановленого на колесах ($s = 1, 2$), при цьому 1 позначені ліві в напрямку до голови потягу колодки; o – до основи (рейкова колія); L – до лівої рейки; R – до правої рейки.

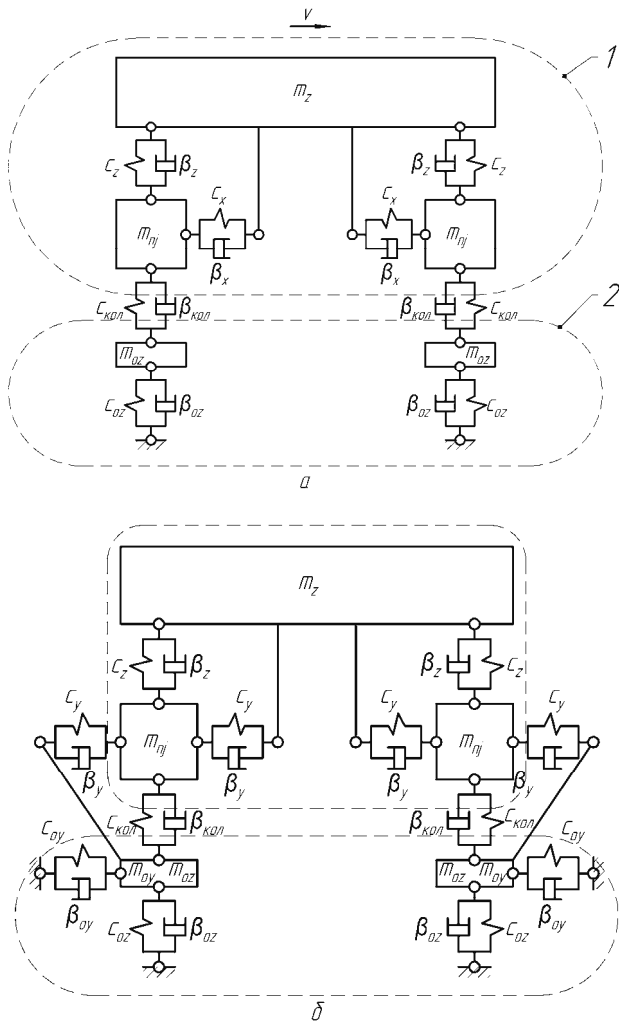


Рис. 1. Розрахункова схема гальмування двовісного шахтного локомотива: а – вигляд спереду; б – вигляд зліва; 1 – локомотив; 2 – рейкова колія

Чисельне розв'язання системи з 33 диференціальних рівнянь другого порядку, складене з незалежних координат $x_{nj}, \varphi_t, \varphi_n, \varphi_{nj}, x_c, z_c, y_c, z_{nj}, \psi_n, y_{in}, z_{onj}, y_{onj}$, виконувалося в програмі Wolfram Mathematica 7, при цьому знаходили мінімальний га-

льмівний 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 потяга та часу його гальмування використовують програмний продукт 4DKP.nb [5], виконаний у програмному комплексі Wolfram Mathematica 7. Після запуску програми в розділі „Константи“ змінюють основні вихідні дані локомотива й причіпної частини потяга, характеристики забрудненості рейок, а у додатковому файлі Path Parameters.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).

Вплив коефіцієнта зчеплення на процес гальмування в математичній моделі визначається задаванням його значення для конкретних умов забрудненості рейкової колії. Згідно з експериментальними даними приймаються наступні актуальні коефіцієнти зчеплення: 0,17 на сухих чистих рейках; 0,13 для мокрих чистих; 0,08 для вкритих вугільно-породним брудом. Для всіх розрахунків приймаємо однакову швидкість початку гальмування, що дорівнює 2,5 м/с.

Спочатку виконувався розрахунок параметрів гальмування для рейок, що вкриті вугільно-породним брудом (коефіцієнт зчеплення 0,08). Кінетичні та динамічні параметри процесу гальмування колісно-колодковими гальмами електровоза АРП10РВ, що рухається лише із двома навантаженими вагонетками типу ВГЗ,3 по ухилу в 30 %, наведені на рис. 2. До колісно-колодкових гальм приклали гальмівний момент величиною 613 Н·м (див. рис. 3, а), що залишається постійним протягом усього гальмування.

Далі проводимо моделювання руху по тій же рейковій колії (як у першому прикладі – для ідеально рівної колії), але з мокрими чистими рейками (коефіцієнт зчеплення 0,13). При цьому, завдяки збільшенню коефіцієнта зчеплення вдається підвищити максимально можливий гальмівний момент до 1063 Н·м без блокування коліс, що, у свою чергу, дозволяє збільшити кількість навантажених вагонеток у складі потяга до шести. Отримані параметри наведені на рис. 3.

На рис. 3, д видно, що гальмівна сила F_{11} на колесах зросла з 2 000 до 2 400 Н, хоча зросла й сила позовжнього опору руху W_x з 300 до 340 Н (рис. 3, в).

Відносне ковзання ε_{11} (рис. 3, б) трошки знизилося, що може свідчити про те, що існує деякий резерв зчепленню і ще можна трошки збільшити гальмівний момент на колесах. Гальмівний шлях потяга при цьому складатиме 35,3 м, тобто не перевищуватиме дозволені 40 м [2].

Аналогічні розрахунки виконуємо збільшивши коефіцієнт зчеплення до 0,17 (сухі чисті рейки). Як мож-

на бачити з отриманих вище закономірностей, це дасть змогу підвищити гальмівний момент до 1167 Н·м (а відповідно й максимальну кількість вагонеток до сімох, які можливо зупинити без зриву зчеплення, не перевищуючи при цьому максимально допустиме значення гальмівного шляху). Результати розрахунку наведені на рис. 4. При таких розрахункових параметрах гальмівний шлях складає 37,8 м (що також не перевищує максимально допустимий).

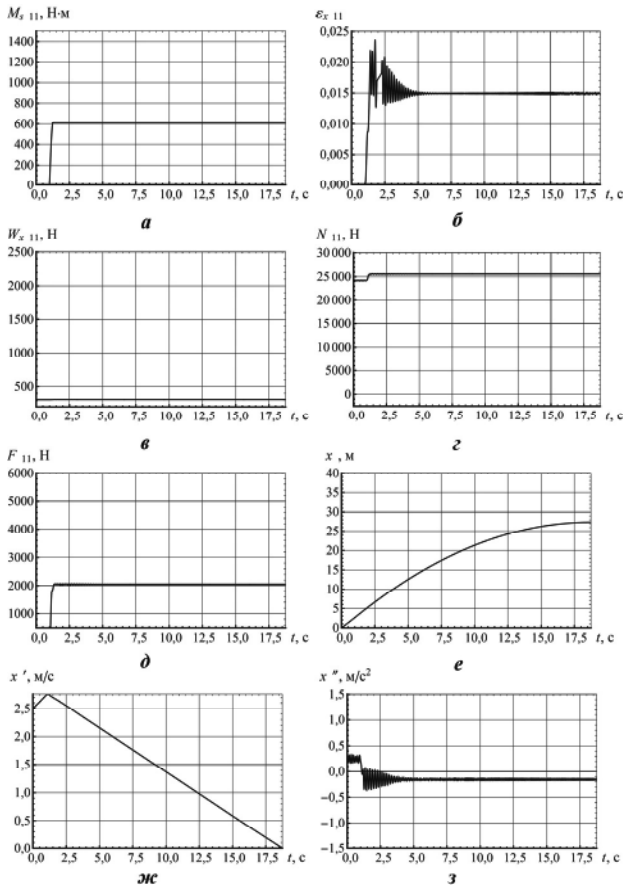


Рис. 2. Графіки параметрів гальмування на рейках, забруднених вугільно-породним брудом: а – гальмівний момент M_{s11} на першій колісній парі тягової секції; б – відносне ковзання ϵ_{11} лівого колеса першої колісної пари тягової секції; в – сила опору руху W_{x11} того ж колеса; г – реакція рейки N_{11} під тим самим колесом; д – гальмівна сила F_{11} на тому ж колесі; е – переміщення x тягової секції; ж – швидкість x' тягової секції; з – прискорення x'' тягової секції

Якщо взяти заходів для подальшого підвищення коефіцієнту зчеплення, наприклад підсипанням піску на доріжки кочення рейок, то він може зрости до величини 0,21, а шахтний потяг, що рухається в таких самих умовах, можна збільшити до дев'яти наванта-

жених вагонеток. До колісно-колових гальм у цьому випадку буде прикладений гальмівний момент у розмірі 1401 Н·м, а гальмівний шлях дорівнюватиме 39,95 м.

Для того, щоб наочно продемонструвати, наскільки впливає стан рейкової колії на параметри гальмування, змодельємо наступну ситуацію. Нехай навантажений склад рухається не по ідеально рівній колії, а більш наближеній до реальності. Для цього введемо в розрахунки величину нерівностей на її стиках. Вважатимемо, що сходинки заввишки від 4 до 10 мм знаходяться через кожні 4,5 м і йдуть зі зменшенням 0,75 м на лівій та правій рейках.

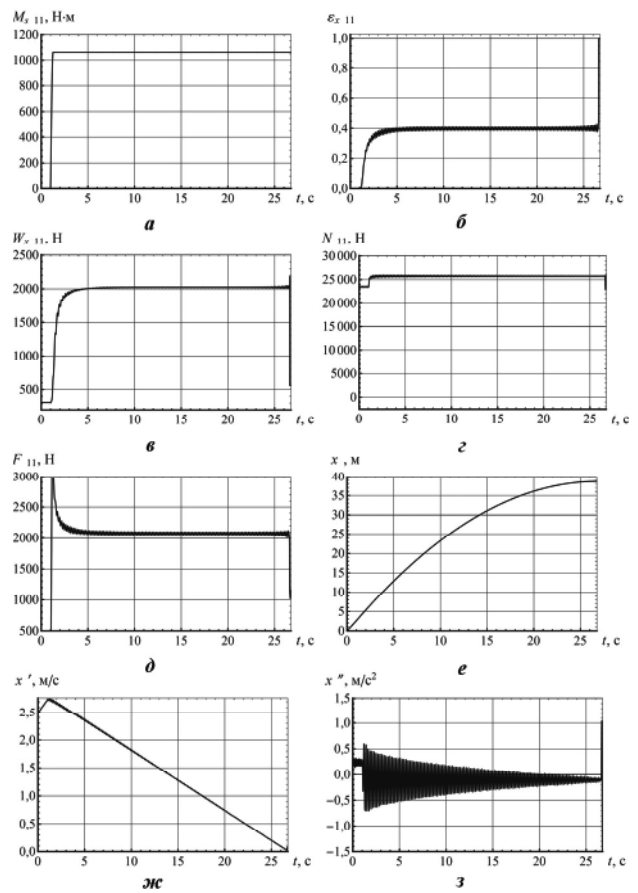


Рис. 3. Графіки параметрів гальмування в залежності від часу на мокрих чистих рейках (див. позначення на рис. 1)

При цьому, якщо керований ухил колії складає 30,5 ‰, то на сухих чистих рейках потяг із сімома вагонами вже не можна буде зупинити, оскільки відбувається зрив зчеплення коліс з рейковою колією, унаслідок чого гальмівний шлях зростає й перевищить дозволений 40 м. Для того, щоб загальмувати навантажений склад на колії з рейковими стиками, необхідно зменшувати гальмівний момент, що прикладається до колеса, а також зменшити кількість навантажених вагонів до шістьох. Методом описаного вище математичного моделювання знаходили максимальний момент,

при якому не буде відбуватися зрив зчеплення коліс із рейками. Цей момент складає 1170 Н·м.

Результати розрахунків наведені на рис. 5. При цьому видно, що виникають значно більші коливання гальмівної сили (рис. 5, д) та поздовжнього прискорення (уповільнення) рами локомотива (рис. 5, з) ніж у попередньому випадку, що обумовлені впливом сходинок рейкових стиків на динаміку двовісного локомотива. З отриманих результатів видно, що сходинки рейкових стиків впливають на реалізацію гальмівної сили в контактні колеса двовісного локомотива з рейкою не так суттєво, як це проявляється у чотиривісного шарнірно-зчленованого локомотива такої самої зчпної маси [5]. Це може бути пояснене тим, що навантаження на колесо у двовісного локомотива у два рази більше, що сприяє динамічному зрівнянню сходинок з доріжкою кочення прямої рейки.

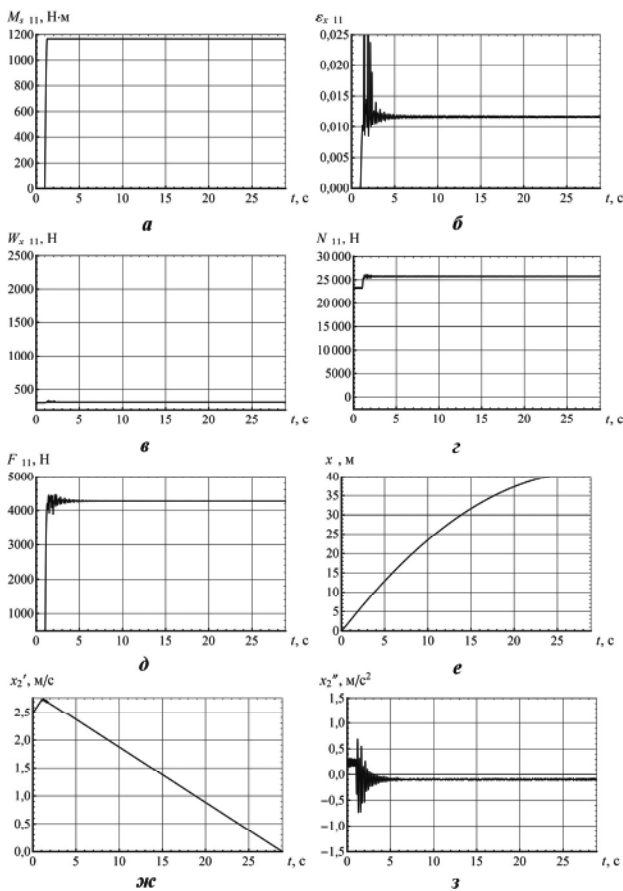


Рис. 4. Графіки параметрів гальмування на сухих чистих рейках (див. позначення на рис. 1)

Висновки. За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки.

1. Навіть незначні дефекти на рейкових коліях здатні істотно впливати на якість процесу гальмування двовісного локомотива АРП10РВ зі складом навантажених вагонеток.

2. Забруднення рейок шахтних локомотивів негативно позначається на якості гальмування рухомого складу, відповідно, своєчасне підтримання рейок у на-

лежному стані може збільшувати обсяги виробництва та продуктивність праці в гірничій галузі.

3. Використання математичних моделей дозволяє максимально якісно виконувати підбір усіх необхідних параметрів, а також перевірку на відповідність діючим технічним нормам. З'являється можливість ще на стадії проектування розрахувати вантажну норму потяга, що буде транспортувати вантажі по найбільш небезпечних ділянках шахтної рейкової колії.

4. Вплив сходинки рейкового стику на гальмівну силу в контактні колеса з рейкою двовісного локомотива не такий значний, як це проявляється у чотиривісного шарнірно-зчленованого локомотива такої самої зчпної маси.

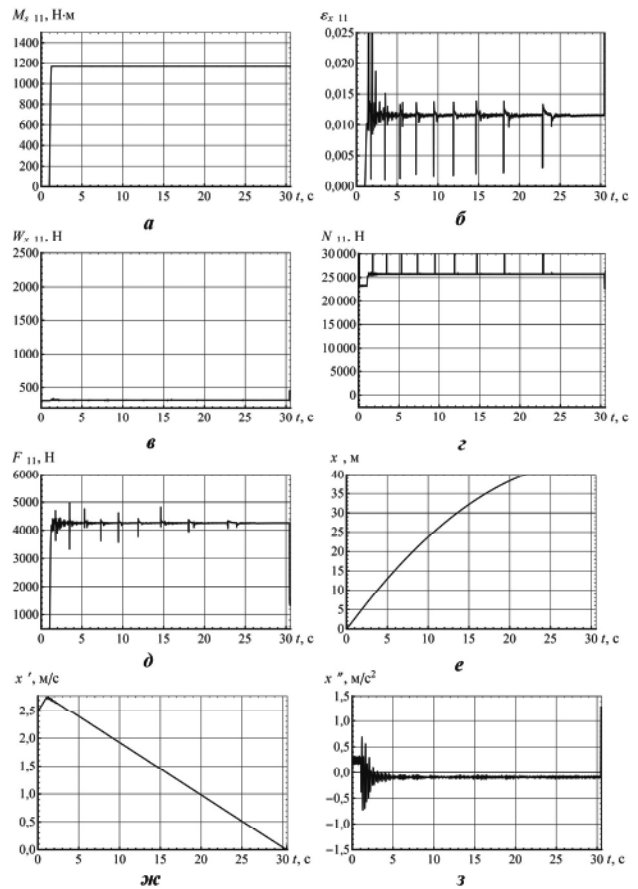


Рис. 5. Графіки параметрів гальмування на сухих чистих рейках з урахуванням наявності рейкових стиків (див. позначення на рис. 1)

Список літератури / References

1. Процив В.В. Экспериментальное определение характеристик сцепления шахтного локомотива в режиме торможения / В.В. Процив, А.Г. Моно // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск, 2003. – №2. – С. 95–97.

Protsiv, V.V., Monia, A.H. (2003), “Experimental determination of locomotive grip descriptions in the braking mode”, *Metallurgical and mining industry*, no2, pp. 95–97.

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. Мінвуглепромом України 06.10.2006. – Вид. офіц. – К., 2006. – 47 с.

Mine locomotive transport. Transportation of people and loads in workings with inclination of 0,005 to 0,050: SOU 10.1.001.85790.007:2006. – Approved by Minvuhleprom of Ukraine 06.10.2006, Official edition, Kyiv.

3. Проців В.В. Визначення сил опору руху та направляючих зусиль шахтного шарнірно-зчленованого локомотива в режимі гальмування / Проців В.В. // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, 2009. – № 33. – Т. 1 – С. 96–102.

Protsiv, V.V. (2009), “Searching the forces of resistance motion and sending efforts of mining joint locomotive in the braking mode”, *Collection of scientific works of NMU, Dnipropetrovsk*, no 33, Vol. 1, pp. 96-102.

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

Protsiv, V.V. (2010), “Dynamic model of the brakes systems which realize brake force in the contact of wheel and rail”, *Collection of scientific works of NMU, 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 ground of technical decisions on perfection of the brake system of the mine joint-joined locomotive”, Abstract of Dr. dissertation, Mining Engineering, NMU, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Цель. Моделирование процесса торможения шахтного локомотива АРП10РВ колесно-колодочными тормозами на пути с различным коэффициентом сцепления и ступеньками рельсовых стыков путем приложения тормозных моментов, влияние которых приводит к срыву сцепления в точке контакта колеса и рельса.

Методика. Составление уравнений Лагранжа второго рода, которые после преобразования в дифференциальные уравнения второго порядка решались в математическом пакете Wolfram Mathematica 7 для получения величины тормозного пути.

Результаты. Проведено теоретическое исследование влияния загрязненности и ступенек шахтной рельсовой колеи на процесс торможения двухосного локомотива АРП10РВ массой 10 т. с составом груженых вагонеток устройствами, которые реализуют тормозную силу в точке контакта колеса с рельсом. Даже незначительные дефекты на рельсовых путях способны существенно влиять на качество про-

цесса торможения двухосного локомотиву АРП10РВ с составом нагруженных вагонеток. Определено, что влияние ступеньки рельсового стыка на тормозную силу в контакте колеса с рельсом у двухосного локомотива не так значительно, как у четырехосного шарнирно-сочлененного той же сцепной массы.

Научная новизна. Заключается в использовании в расчетах тормозного пути поезда предварительно измеренных параметров рельсовой колеи, таких как загрязненность дорожек катания, продольный и поперечный уклоны, ступеньки рельсовых стыков и другое.

Практическая значимость. Появляется возможность просчитывать количество нагруженных вагонеток, которые шахтный локомотив может транспортировать вниз по опасному участку рельсовой колеи с известными геометрическими характеристиками.

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

Purpose. Simulation of mine locomotive braking process performed by means of АРП10РВ wheel shoe brakes on a rail way with different coefficient of rolling friction and steps of rails joints through applying of braking torques, which cause over brings to failure of traction of the wheel in the point of its contact with the rail.

Methodology. 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 7, has been used to determine the length of braking distance.

Findings. Theoretical research of influence of muddiness and steps of mine rails track on the process of braking of biaxial locomotive АРП10РВ (mass of 10 tons) with rolling stock of the loaded trolleys by the devices which realize brake force in the point of contact of wheel and rail has been conducted. Even insignificant defects on rail way are able to influence considerably on the quality of braking process of biaxial locomotive АРП10РВ with the stock of the loaded trolleys. It is found out that influence of steps of rail joints on brake force in the contact point of wheel and rail for the biaxial locomotive is not so considerable, as for fouraxial joint-joined one of similar trailing weight.

Originality. Use of the preliminary measured parameters of rail way, such as muddiness, crossfall and inclination, steps of rail joints est. in calculation of the braking distance of a train.

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

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

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.С. Блохіним. Дата надходження рукопису 05.03.12.