

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТОРЕЙКОВОГО ДОВАНТАЖУВАЧА НА БЕЗПЕКУ РУХУ ШАХТНОГО ПОТЯГА**

На основе результатов математического моделирования процесса торможения шахтного поезда проведена количественная оценка влияния использования магниторельсового догрузителя на величину тормозного пути как основного показателя безопасности движения.

На основі результатів математичного моделювання процесу гальмування шахтного потяга проведена кількісна оцінка впливу використання магніторейкового довантажувача на величину гальмівного шляху як основного показника безпеки руху.

Based on the results of mathematical modeling of the mine train braking quantified impact of the use of a magnetic rail device to increase the load on the axle of the locomotive on the magnitude of the braking distance as the main indicator of safety.

На цей час основним засобом транспортування вантажів і людей по горизонтальних виробках є рейковий локомотивний транспорт. Основним резервом підвищення продуктивності підземного транспорту є збільшення швидкості руху та вагової норми потяга, що обмежується можливостями традиційних гальмівних засобів локомотива, який в даний час є єдиною гальмівною одиницею шахтного поїзда.

Згідно з діючими нормативними документами, основним показником безпеки руху є гальмівний шлях поїзда – 40 м для вантажних і 20 м для людських потягів, причому вказані значення повинні бути забезпечені в будь-яких умовах експлуатації. Колодково-колісні гальмівні системи, що використовуються локомотивах, реалізують обмежену за умовами зчеплення гальмівну силу в точках контакту колеса з рейкою і не гарантують безпечну зупинку потяга на регламентованому гальмівному шляху. Це пояснюється тим, що при накладенні на гальмівну колодку гальмівного натискання, величина якого більше деякого граничного для даних умов значення, відбувається зрив зчеплення і блокування колеса [1]. Величина граничного для даних умов гальмівного натискання визначається низкою чинників, серед яких найбільш значущими є вертикальне навантаження на колесо і стан рейкової колії (характер і ступінь забрудненості, знос доріжок катання і т.д.). Способи управління параметрами зчеплення колеса з рейкою, наприклад, підсипання піску, на практиці виявляються недостатньо ефективними, тому завдання підвищення безпеки локомотивної відкатки за рахунок забезпечення без'юзного режиму руху зводиться до розробки способу збільшення вертикального навантаження на колесо, що дозволить прикладати до колеса максимально можливий гальмівний момент без ризику зриву зчеплення колеса з рейкою.

Одним із способів збільшення вертикального навантаження на колесо є застосування магніторейкових довантажувачів, характерною відмінністю яких від аналогічних за конструкцією рейкових магнітних гальм є можливість передачі на осі локомотива частини сили магнітного тяжіння. Працездатність даного технічного рішення підтверджена результатами лабораторних випробувань

[2], однак питання кількісної оцінки впливу довантажувачів на показники безпеки руху шахтних поїздів, в першу чергу, на гальмівний шлях, в даний час недостатньо вивчений.

Мета роботи – кількісна оцінка впливу використання магніторейкових довантажувачів на величину гальмівного шляху шахтного потяга як основного показника безпеки руху.

Як відомо, гальмівна сила, що реалізується колодковим-колісним гальмом в точці контакті колеса з рейкою, дорівнює силі тертя колодки і визначається за формулою [3]

$$F_{11} = K_{11}\varphi,$$

де  $K_{11}$  – гальмівне натискання на колодку;  $\varphi$  – коефіцієнт тертя колодки.

Максимальна гальмівна сила на колесі шахтного локомотива за умовою забезпечення зчеплення обмежується значенням, величина якого пропорційна реакції рейки під колесом

$$F_{11max} = N_{11}\psi,$$

де  $N_{11}$  – реакція рейки під колесом;  $N_{11}$  – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою.

Отже, умову працездатності колісно-колодкового гальма можна представити у вигляді

$$K_{11}\varphi \leq N_{11}\psi,$$

а максимальне значення зусилля натискання на колодку може бути визначено зі співвідношення

$$K_{max} = \frac{N_{11}\psi}{\varphi}.$$

При блокуванні колеса гальмівна сила визначатиметься з виразу

$$F_{11} = N_{11}f_{ск},$$

де  $f_{ск}$  – коефіцієнт тертя ковзання колеса по рейці.

Фізична природа ефекту довантаження полягає в тому, що зрив зчеплення в цьому випадку відбудеться при більшій величині гальмівного натискання, ніж при гальмуванні без довантаження, оскільки реакція рейки під колесом визначатиметься сумарним навантаженням від дії зчіпного ваги локомотива, що припадає на колесо, і дії сили довантаження:

$$K_{max}^{\partial} = \frac{N_{11}^{\partial}\psi}{\varphi} = \frac{(P_{сц} + N_{\partial})\psi}{\varphi},$$

де  $N_{\partial}$  – сила довантаження.

Сила довантаження колеса при зміні кута нахилу тяг змінюється за наступним законом

$$N_{11}^{\partial} = P_m \left( \frac{ctg\alpha f_{\partial}}{1 + ctg\alpha f_{\partial}} \right),$$

де  $P_m$  – сила магнітного тяжіння магніторейкового довантажувача до рейки;  $\alpha$  – кут нахилу тяг довантажувача;  $f_{\partial}$  – коефіцієнт тертя полозів довантажувача по рейці.

Для проведення кількісної оцінки впливу використання магніторейкового довантажувача на гальмівний шлях була використана розроблена автором під керівництвом проф. В.В. Проціва математична модель процесу гальмування шахтного потяга [4], розв'язання проведено за допомогою файлу *3DKP.nb* програмного комплексу Wolfram Mathematica 8. Умови моделювання наступні: тип електровоза АРВ10ГЕ, маса поїзда 58 т, ухил шляху 35 ‰, початкова швидкість гальмування 2 м/с, стан рейок – покриті брудом. Методика моделювання передбачає розрахунок основних параметрів процесу гальмування при зміні величини гальмівного натискання на колодку колісно-колодкового гальма. Зрив зчеплення визначався за величиною відносного ковзання колеса, зупинка поїзда фіксувалася при швидкості, рівній нулю. В результаті отримано графіки, що відображають зміну параметрів процесу гальмування шахтного потяга при використанні колісно-колодкового гальма і магніторейкового довантажувача (рис. 1, 2).

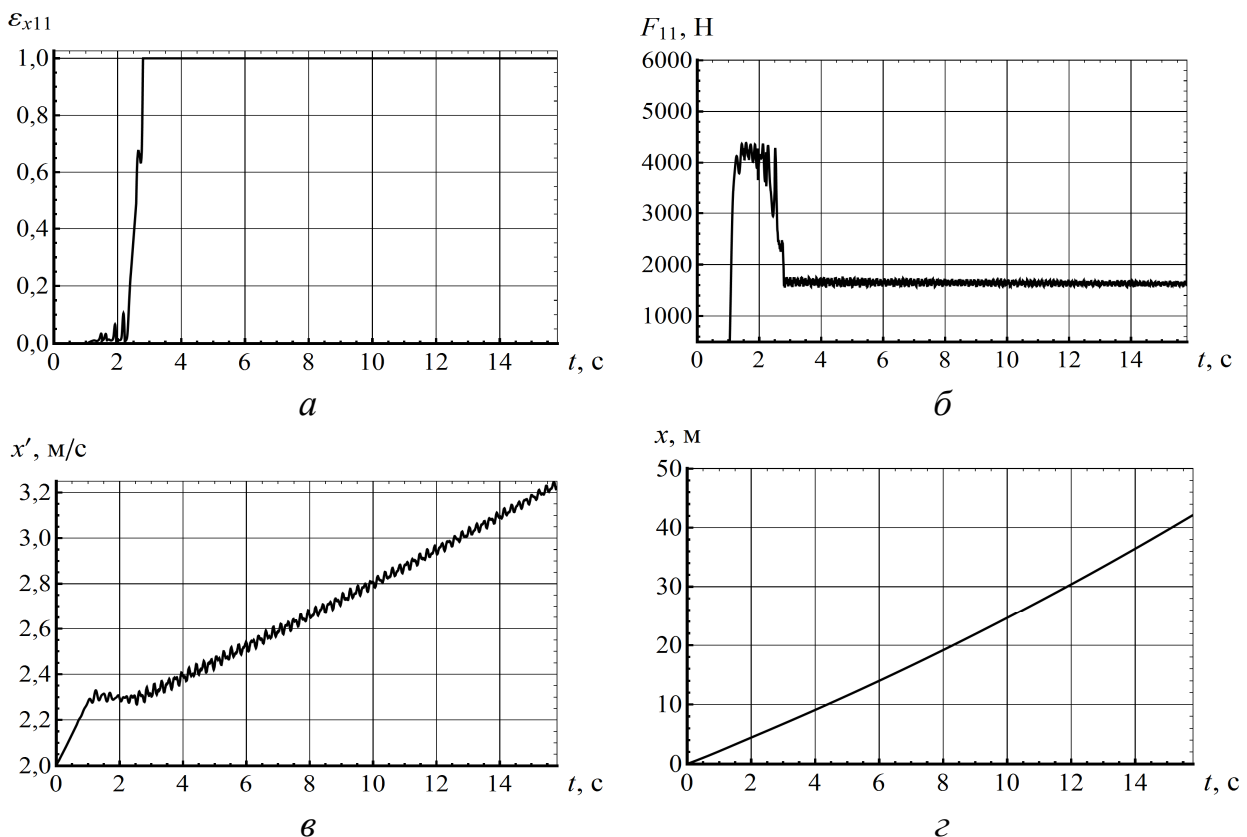


Рис. 1. Зміна параметрів процесу гальмування при використанні колісно-колодкового гальма:

$a$  – відносне ковзання колеса;

$v$  – швидкість локомотива;

$b$  – гальмівна сила на колесі;

$z$  – гальмівний шлях локомотива

При гальмуванні локомотива АРВ10ГЕ колісно-колодковим гальмом зрив зчеплення, який визначається за величиною відносного ковзання колеса, рівно-

го одиниці (рис. 1, *а*), зафіксований при величині гальмівного моменту  $M_{s11} = 1,147$  кН·м, який створюється натисканням на гальмівну колодку із зусиллям  $K_{11} = 14,15$  кН. Гальмівна сила на колесі зростає протягом 2 с до максимального значення  $F_{11}^{\max} = 4,45$  кН; блокування колеса призводить до різкого зниження гальмівної сили до значення 1,64 кН (рис. 1, *б*). Внаслідок зниження гальмівної сили локомотив починає рухатися з прискоренням (рис. 1, *в*), а гальмівний шлях в підсумку істотно перевищує нормоване значення 40 м (рис. 1, *г*).

При включенні магніторейкового довантажувача на колесо передається додаткове навантаження  $N_{\partial} = 2$  кН (кут нахилу тяг дорівнює  $15^{\circ}$ ), що призводить до збільшення вертикальної реакції під колесом. До колодки прикладається той же гальмівний момент, що і в попередньому випадку, однак це не викликає блокування коліс, оскільки відносне ковзання колеса склало 0,008 (рис. 2, *а*). Гальмівна сила на колесі за весь період гальмування залишилася постійною, що дозволило зупинити поїзд на гальмівному шляху 30 м (рис. 2, *г*).

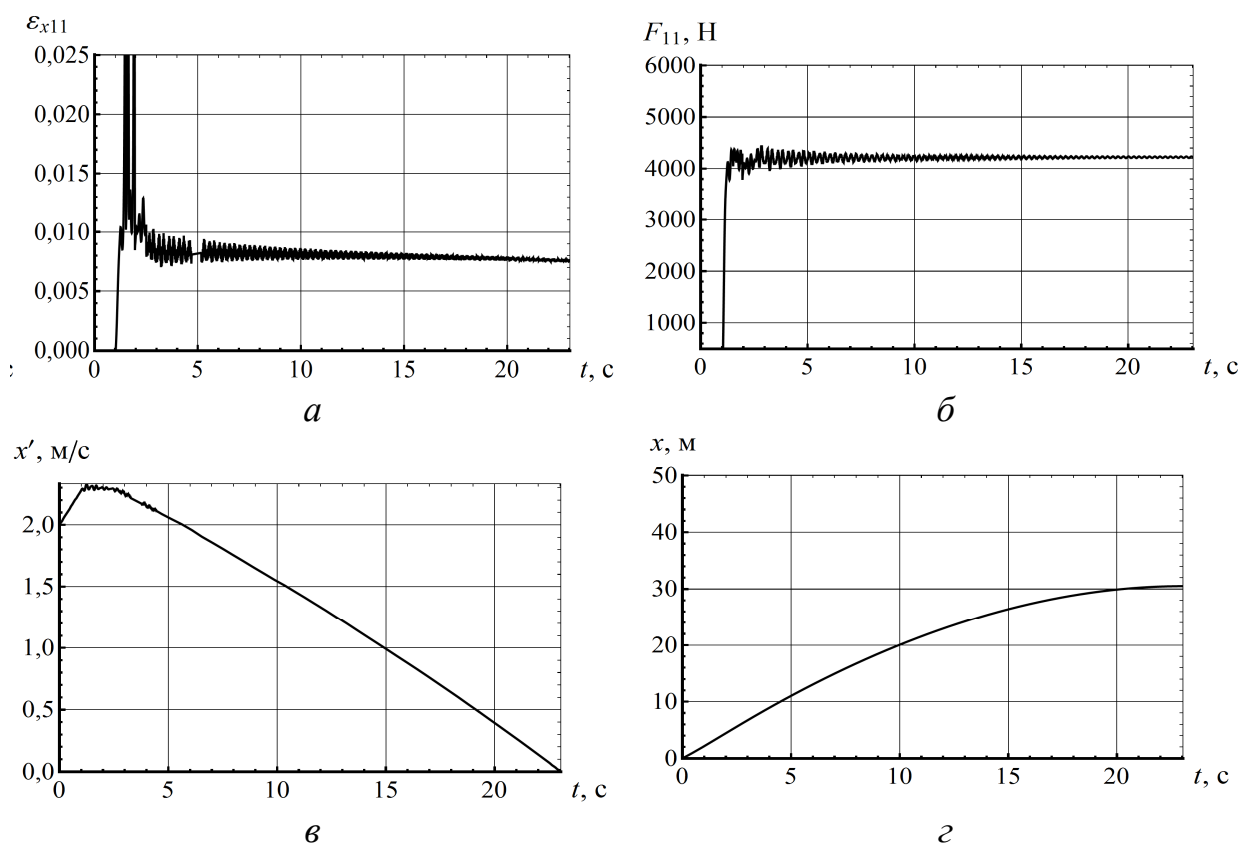


Рис. 2. Зміна параметрів процесу гальмування при спільному використанні колісно-колодкового гальма і магніторейкового довантажувача:

*а* – відносне ковзання колеса;

*в* – швидкість локомотива;

*б* – гальмівна сила на колесі;

*г* – гальмівний шлях локомотива

Для кількісної оцінки впливу застосування магніторейкового довантажувача на гальмівний шлях проведено моделювання процесу гальмування для попередніх умов, під час якого змінювалась початкова швидкість гальмування в діапазоні від 0,5 до 3,5 м/с з кроком 0,5 м/с. У результаті визнача-

лася довжина гальмівного шляху, що дозволило побудувати графік залежності даного показника від початкової швидкості гальмування (рис. 3).

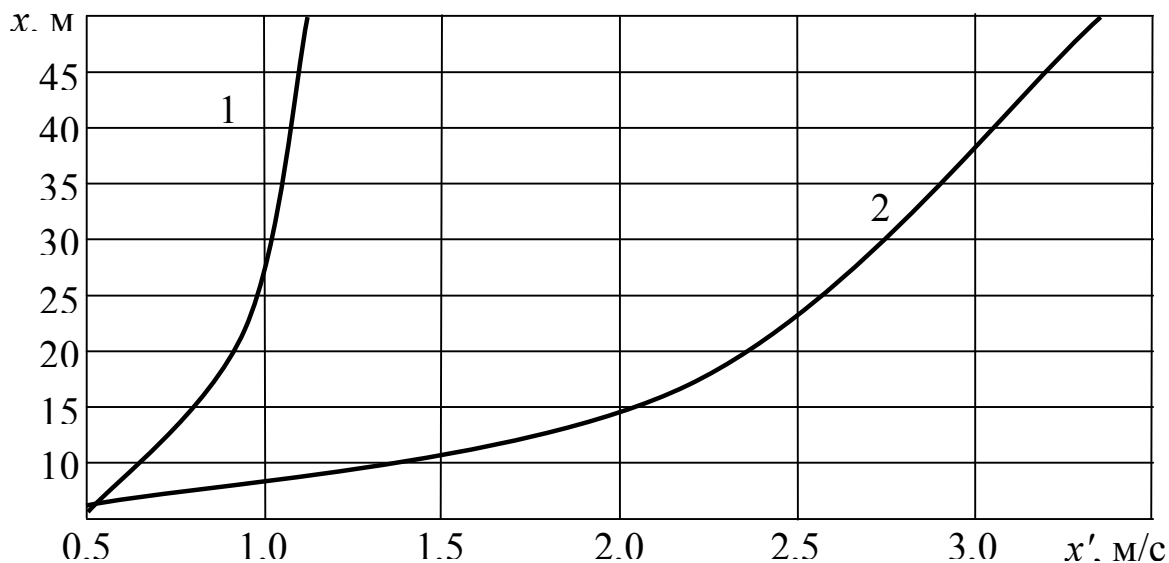


Рис. 3. Графік залежності гальмівного шляху локомотива від початкової швидкості гальмування: 1 – при використанні колодково-колiсного гальма; 2 – при спільному використанні колодково-колiсного гальма і довантажувача

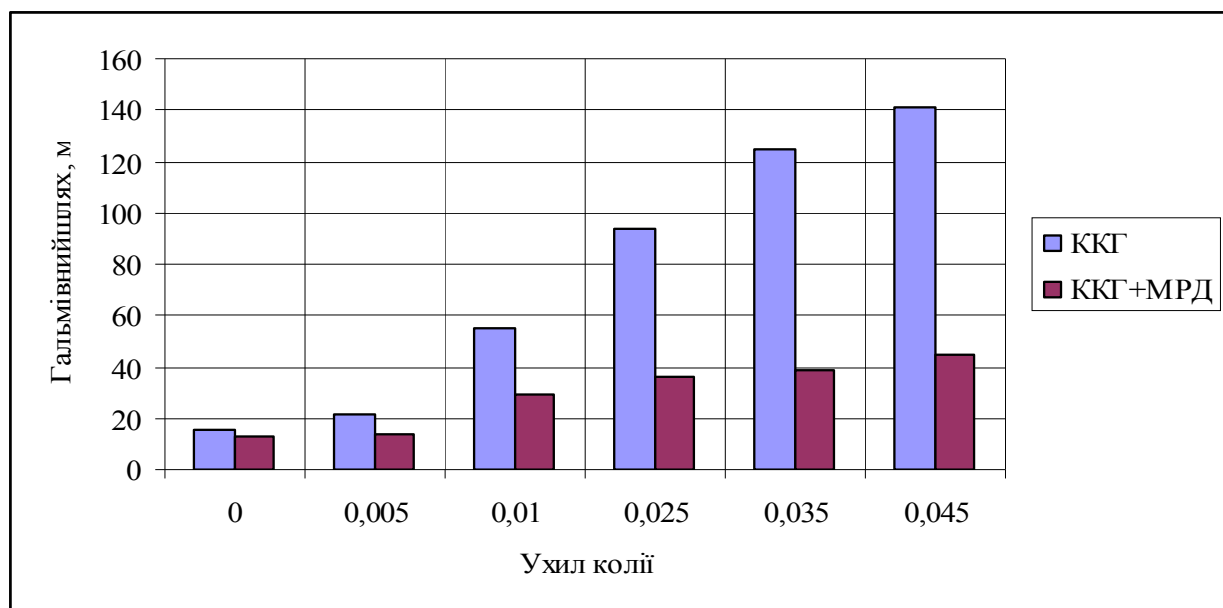


Рис. 4. Порівняння гальмівного шляху шахтного потяга при використанні колодково-колiсним гальмом (ККГ) та при спільному використанні колодково-колiсного гальма і магніторейкового довантажувача (ККГ+МРД)

Аналіз отриманих результатів показав, що спільне використання колодково-колiсного гальма і магніторейкового довантажувача дозволяє суттєво збільшити безпечну за умовою гальмування швидкість руху в 2,2 рази. Порівняння результатів розрахунку гальмівного шляху свiдчить, що при викорис-

танні колісно-колодкового гальма зупинка поїзда на нормованому гальмівному шляху не гарантована навіть при швидкості руху 1,2 м/с (4,3 км/год), у той час як використання довантажувача дозволяє розвивати безпечну швидкість до 3,1 м/с (11,2 км / год).

Порівняння результатів моделювання з даними, що отримані при випробуваннях електровоза АРВ10ГЕ в умовах шахти «Самарська» ДТЕК [5], свідчить про те, що ефективність використання магніторейкових довантажувачів збільшується при збільшенні ухилу рейкової колії, оскільки зменшення гальмівного шляху у порівнянні з режимом гальмування штатними гальмівними пристроями на ділянці з ухилом 0,005 становить 7 %, а на ділянці з ухилом 0,045–212 %.

Істотне (більш ніж 15 %) зменшення гальмівного шляху спостерігається при ухилі рейкової колії 0,013, а при ухилі 0,021 скорочення складає біля 70 %. При подальшому збільшенні ухилу спостерігається стрімкий ріст гальмівного шляху, а у випадку блокування коліс локомотив може почати неконтрольований рух з прискоренням, тому різниця між показниками ефективності гальмування може сягати декількох разів.

**Висновки.** В результаті проведених дослідження процесу гальмування шахтного потяга встановлено, що використання для службового гальмування колодково-колісного гальма не може гарантувати зупинку потяга на нормованому гальмівному шляху навіть при малій швидкості руху, у той час як використання довантаження коліс дозволяє поїзду розвивати безпечну швидкість 11,2 км/год. Також встановлено, що ефективність використання магніторейкових довантажувачів збільшується при збільшенні ухилу колії, а раціональною областю використання довантажувачів можна вважати виробки з ухилом рейкової колії від 20 до 50 %.

#### Список літератури

1. Буато М. Современные противоюзные устройства / М. Буато // Железные дороги мира. – М., 1987. – № 4. – С. 15 – 22.
2. Салов В. А. Повышение тяговой и тормозной способности шахтного подвижного состава с помощью магнитных устройств / В. А. Салов // Известия вузов: Горный журнал. – 1990. – № 2. – С. 77 – 80.
3. Иноземцев В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава / В. Г. Иноземцев. – М.: Транспорт, 1979. – 424 с.
4. Проців В. В. Переваги магніторейкового довантажувача над рейковим гальмом у шахтному локомотиві / В. В. Проців, О. В. Новицький, А. І. Самойлов // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 4. – С. 79 – 84.
5. Процив В. В. Моделирование торможения шахтного поезда на заданном участке пути: монография / В. В. Процив. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 208 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.  
Надійшла до редакції 16.09.2014*