

tion will be: $f_E = 2kf_{MX}$. According to (1) this will lead to the increase of generator's EMF. In constructions on Fig. 3a, b the magnetic flux F_0 will be a great in comparison with constructions on fig. 1 a, d, thereby reducing the coefficient k_f with the corresponding consequences.

Pole width b_n in constructions on fig. 3:

$$b_n = 0.5t_z = \frac{0.5\tau}{k}.$$

In constructions on Fig. 1c, d it can be taken $b_{n_0} = 0.5t$.

Ratio:

$$\frac{b_n}{b_{n_0}} = \frac{0.5\tau}{k \cdot 0.5\tau} = \frac{1}{k}.$$

Power ratio of generators, constructed in accordance with fig. 3 and fig. 1 with the same bore diameters and length of windings

$$\frac{S}{S_0} = \frac{kb_n}{b_{n_0}} = 1.$$

Consequently, the construction of the toothed rotor for generators, despite an increase in the frequency and EMF by k times does not lead to the increase its power output. On the contrary, it is a slightly reduced due to the reduction of k_f coefficient.

Conclusions.

1. Analysis of the basic structures of linear electric generators was carried out. Equations for calculating the power and EMF of generators, as well as for the calculation of their geometrical parameters were obtained.
2. A comparison of conventional and high capacity (toothed) generators was carried out. It was shown that usage of toothed rotor slightly reduces capacity of generator in comparison to the conventional one.

References

1. Бабикова Н.Л., Саттаров Р.Р., Полихач Е.А. К вопросу о классификации линейных электрических генераторов// Вестник УГАТУ.-2009, т.12, №1-С. 144-149.
2. Гребеников В.В., Козырский В.В., Петренко А.В. Цилиндрическая магнитоэлектрическая машина возвратно-поступательного движения// Техн. электродинамика.-2009-№2-С.53-57.
3. Лакатош О.В. Патент Украины №88952. Бюл. №23-2009.

Рекомендовано до друку: к-том техн. наук, проф. Івановим О.Б.

УДК 622.625.28

О.В. Новицький, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, ДВНЗ «Національний гірничий університет»)

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАГНІТОРЕЙКОВОГО ДОВАНТАЖУВАЧА ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ ТИПІВ МАГНІТНИХ БЛОКІВ

Вступ. Основним засобом транспортування вантажів і людей по горизонтальних виробках підземних підприємств є рейковий локомотивний транспорт. Одним з резервів підвищення продуктивності підземного транспорту є збільшення швидкості руху та вагової норми потяга, що обмежується можливостями традиційних гальмівних засобів локомотива. 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 системи мають обмежену ефективність і не гарантують безпечну зупинку потяга на регламентованому гальмівному шляху. Це пояснюється тим, що при накладенні на колодку гальмівного притискання, величина якого більше деякого граничного для даних умов значення, відбувається зрив зчеплення і блокування колеса [1]. Величина граничного для даних умов гальмівного притискання визначається низкою чинників, серед яких найбільш значущими є вертикальне навантаження на колесо і стан рейкової колії. Розроблені у минулому способи покращення умов зчеплення колеса з рейкою, наприклад, підсипання піску або використання га-

льмівних колодок, що містять абразивні матеріали, на практиці виявляються недостатньо ефективними, тому завдання підвищення безпеки локомотивної відкатки за рахунок забезпечення без'юзового режиму руху зводиться до розробки способу збільшення вертикального навантаження на колесо, що дозволить прикласти 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 випробувань в підземних умовах [2], але реальні показники ефективності застосування довантажувачів нижчі за розрахункові. Як свідчать результати досліджень, насамперед це пов'язано з негативним впливом недосконалостей рейкової колії, при проходженні яких сила магнітного притискання зменшується на 45 – 80%, а в деяких випадках (при відриві магнітного блока) зникає взагалі. У наукових роботах, присвяченій питанням покращення гальмівних властивостей шахтних локомотивів, взаємозв'язок між наявністю недосконалостей рейкової колії та зменшенням сили магнітного притискання не ставиться під сумнів, але відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо засобів та методів зменшення цього впливу. Відомі технічні рішення з забезпечення стабільності притискання магнітного блока до рейки на базі гідравлічних пристроїв, що відслідковують взаємне положення елементів і за необхідності переміщують магнітний блок у вертикальній площині [3], окрім складності та низької надійності, мають обмежену сферу використання, оскільки можуть бути встановлені тільки на локомотиви з гідравлічною системою. Більш перспективним напрямом вдосконалення магніторейкових довантажувачів є розробка секційних магнітних блоків, в яких секції мають змогу самостійно займати таке положення, при якому площа контакту буде максимальною. Одним з таких технічних рішень є магнітний блок, що складається з двох секцій, кожна з яких має змогу переміщуватись у вертикальній продольній площині [4]. Перевагою цього рішення є те, що кожна секція без зовнішніх приводів переміщуються відносно сусідньої, за рахунок чого забезпечується стабільний контакт з поверхнею рейки. Недолік конструкції полягає у зменшенні корисної довжини магнітного блока, що призводить до пропорційного зменшення сили магнітного притискання.

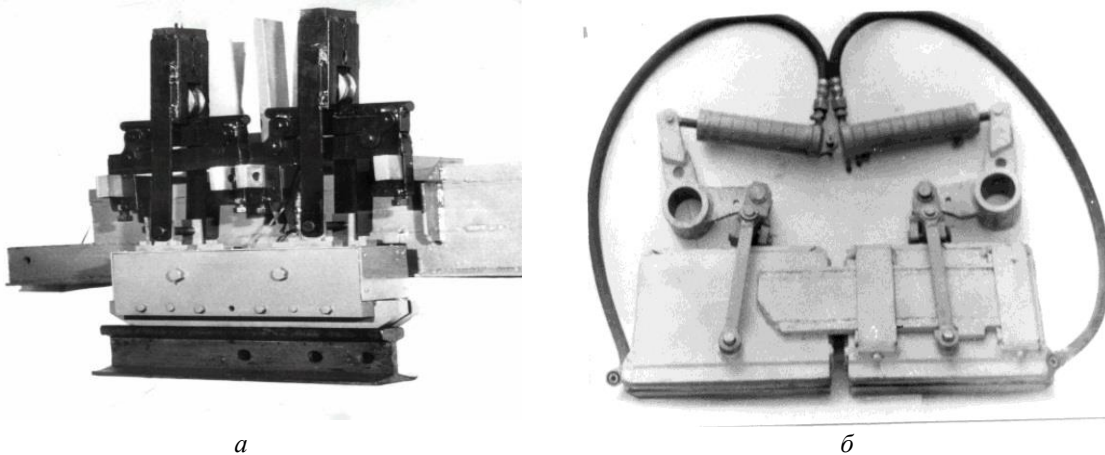


Рис. 1. Конструкція магніторейкового довантажувача з односекційним (а) та двосекційним магнітним блоком (б)

Мета роботи – кількісна оцінка та порівняння показників ефективності роботи магніторейкового довантажувача при використанні одно- та двосекційних магнітних блоків.

Основним параметром магніторейкового довантажувача є сила магнітного притискання, що визначається за формулою Максвелла

$$P = 4,06 \cdot 10^5 \cdot B^2 \cdot l \cdot a,$$

де B – магнітна індукція в робочому зазорі; l, a – довжина магнітного блока та ширина контакту тормоза з рейкою.

Зрозуміло, що сила магнітного притискання прямо пропорційна довжині магнітного блока. При застосуванні односекційної компоновки довжина блоку буде максимальною, але фактичні значення сили магнітного притискання, сили довантаження і гальмівної сили виявляються нижчими за розрахункові. Це відбувається через те, що при проходженні нерівностей рейкової колії між поверхнями тертя виникають повітряні зазори (рис. 2, а). При застосуванні двосекційної компоновки корисна довжина магнітного блоку зменшується на величину переміщення секцій, але за рахунок більш щільного притискання фактичні значення сили магнітного притискання, сили довантаження і гальмівної сили зростають.

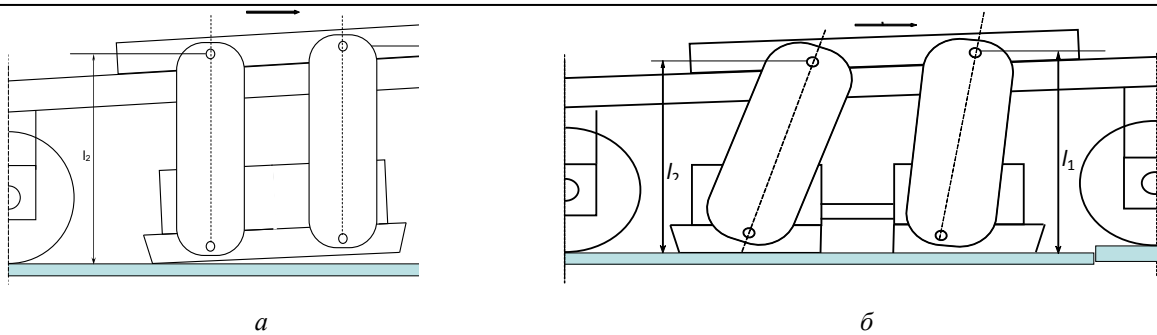


Рис. 2. Проходження односекційним (а) та двосекційним (б) магнітним блоком довантажувача нерівності рейкової колії

Для кількісної оцінки ефективності застосування одно- та двосекційних магнітних блоків пропонується використовувати найбільш важливі для будь-якого гальмівного пристрою шахтного локомотиву показники – гальмівну силу на колесі та гальмівний шлях. Для визначення параметрів процесу гальмування використано динамічну модель [4] гальмування потягу у складі локомотива АРП10РВ та восьми навантажених вагонеток ВГ3,3 на ділянці колії з сухими чистими рейками (коефіцієнт зчеплення 0,165) і подовжнім ухилом 35 ‰. Модель дозволяє розраховувати параметри руху локомотива в різних умовах і режимах гальмування з застосуванням різних гальмівних механізмів.

Чисельне розв’язання системи з 33 диференціальних рівнянь другого порядку виконувалося в програмі Wolfram Mathematica 8, при цьому знаходили мінімальний гальмівний шлях, на якому зупиниться потяг у разі прикладання максимально можливого гальмівного моменту під час руху по колії з одиничними короткими локальними нерівностями. 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 у розділі «Константи» змінюють основні вихідні дані локомотиву, включаючи довжину магнітного блоку, й причіпної частини потягу, характеристики забрудненості рейок, а у додатковому файлі *Path Params.xls* вказують висоти сходинок рельсової колії. Перед стартом в розділі «Вхідні параметри» необхідно вказати максимальний час розрахунків і початкову точку шляху, над якою розміщується центр маси рами секції локомотива в момент початку розрахунків.

Моделювання проводилось в два етапи. На першому визначались гальмівна сила на колесі та гальмівний шлях потягу під час руху по ділянці ідеально рівної рейкової колії. Для цього у додатковому файлі *Path Params.xls* висота нерівностей приймається рівною нулю (рис. 3, а). Гальмівний момент на колесі M_{s11} задавався рівним 1247 Н·м (рис. 3, б). На другому етапі визначались ті ж показники, але під час руху по ділянці рейкової колії з ізолюваними нерівностями, висота яких задавалась в діапазоні від 4 до 10 мм (рис. 4, а).

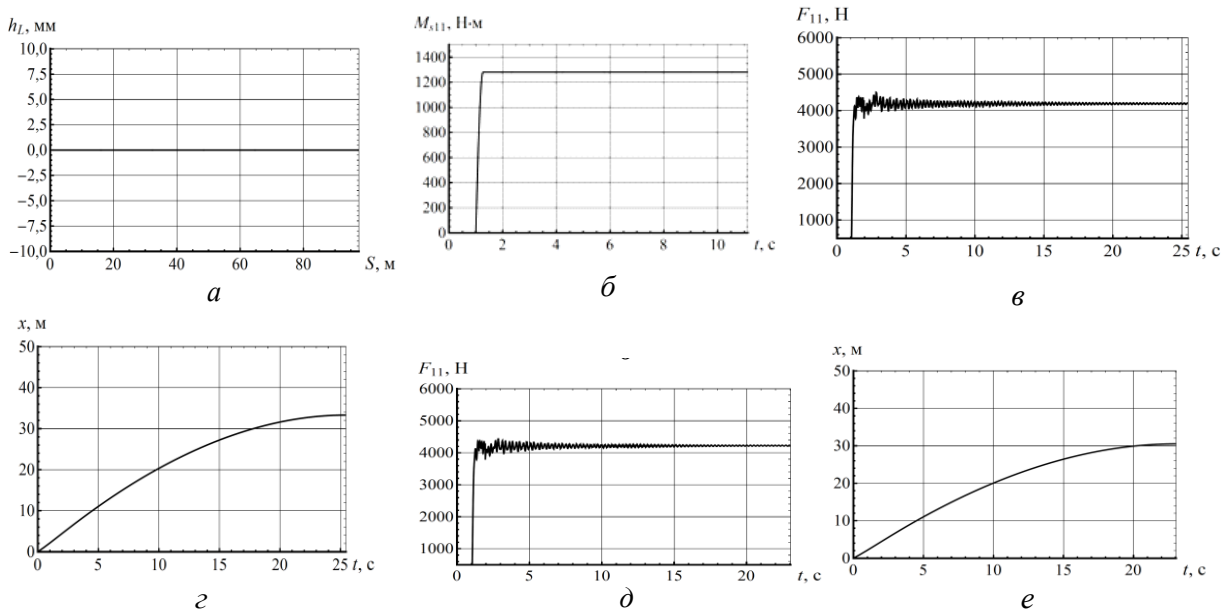


Рис. 3. Графіки зміни параметрів гальмування колісно-колодковими гальмами при сумісному їх використанні з магніторейковим довантажувачем при роботі на ділянці ідеально рівної колії:

а – висота нерівності рейкової колії; б – гальмівний момент на колесі;
в, г – гальмівна сила колеса та переміщення рами локомотива при використанні односекційного блоку;
д, е – гальмівна сила колеса та переміщення рами локомотива при використанні двосекційного блоку

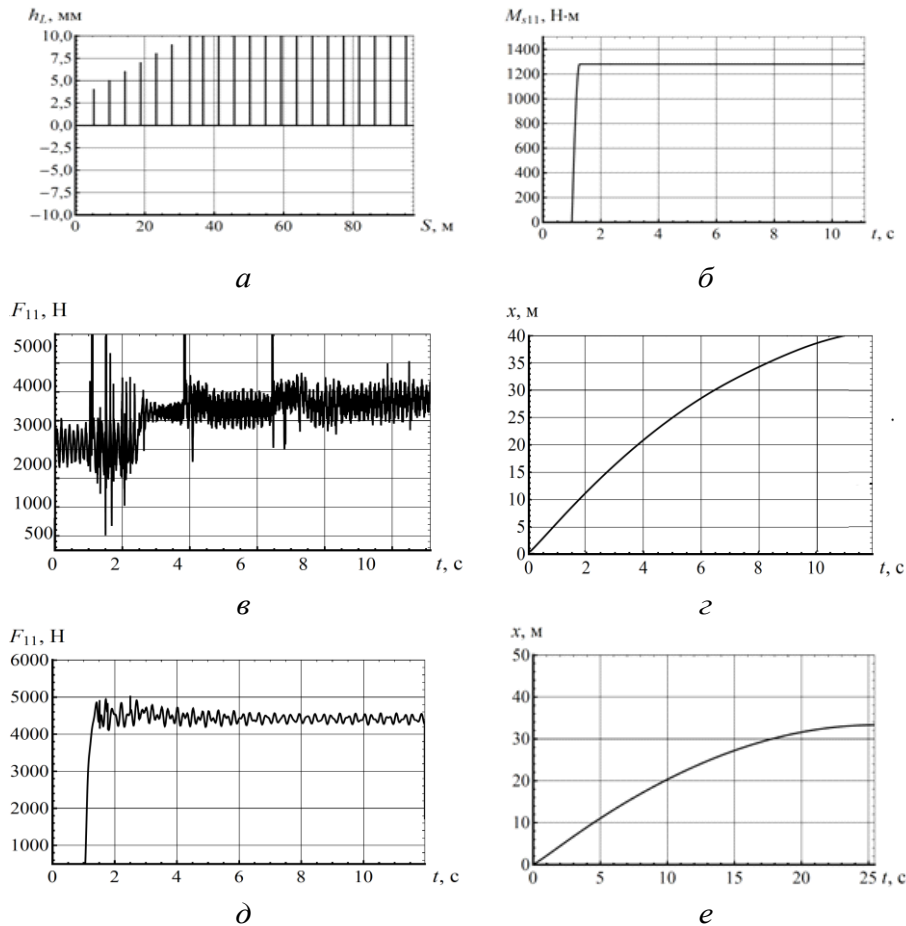


Рис. 4. Графіки зміни параметрів гальмування колісно-колодковими гальмами при сумісному їх використанні з магнітнорейковим довантажувачем при роботі на ділянці рейкової колії з нерівностями (позначення параметрів аналогічні позначенням на рис. 3)

Шляхом моделювання процесів гальмування шахтного потяга отримано графіки зміни гальмівної сили на колесі та гальмівного шляху потяга при використанні односекційного та двосекційного магнітних блоків. Аналіз графіків показує, що за відсутності нерівностей величина та характер зміни гальмівної сили на колесі та гальмівний шлях потягу практично не відрізняються, оскільки основні динамічні параметри однакові для варіантів, що розглядаються.

Під час руху потяга по ділянці рейкової колії з нерівностями у тих же умовах при використанні односекційного магнітного блока реалізується гальмівна сила, середня величина якої на 12 – 15 % нижча, ніж у випадку руху по ідеально рівній поверхні. При цьому амплітуда коливань гальмівної сили досягає 1,8 кН. Як наслідок, гальмівний шлях потяга склав 49,3 м, що свідчить про неефективність односекційного магнітного блока. Графік зміни гальмівної сили на колесі при використанні двосекційного блоку на ділянці з нерівностями рейкової колії також характеризується коливаннями, але їх амплітуда не перевищує 0,54 кН, тому повна зупинка потяга відбулась на відмітці 32 м, що задовольняє вимогам правил безпеки.

Для оцінки ефективності магнітних блоків різної компоновки при роботі на ділянках рейкової колії з нерівностями зазвичай використовується коефіцієнт використання сили магнітного притискання, який являє собою відношення величини сили притискання, що реалізується, до її максимально можливого значення. Але більш адекватна картина може бути отримана, якщо враховувати зменшення сили притискання внаслідок переміщення колісної пари при проходженні нерівності, як це запропоновано в роботі [6]. Для визначення зменшення сили притискання при проходженні нерівності використано метод обчислювального експерименту в програмі тривимірного моделювання КОМПАС, запропонований проф. В.В. Процівим у роботі [7]. У результаті отримано графіки залежності коефіцієнта використання сили магнітного притискання від висоти нерівності рейкової колії (рис. 5). Порівняння отриманих результатів показало, що при проходженні одиничної нерівності висотою 4 мм величина коефіцієнта використання сили притискання односекційного блоку становить 0,37, а двосекційного – 0,56. При подальшому збільшенні висоти нерівності ефективність використання односекційного блоку стрімко знижується. Так при $h_{LR} = 10$ мм коефіцієнт використання становить лише 0,16, у той час як для двосекційного блоку – 0,38. Отже, ефективність використання односекційного блоку при збільшенні висоти нерівності знижується більш стрімко, тому областю його застосування є капітальні відкаточні виробки з мінімальними нерівно-

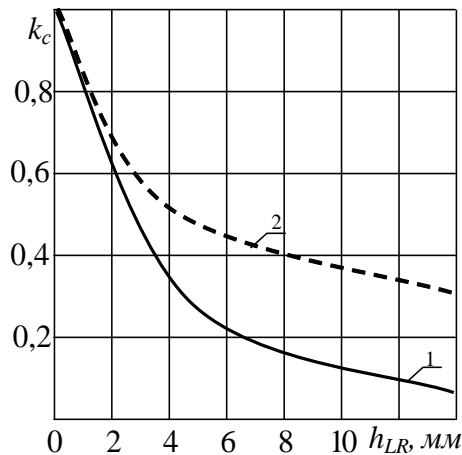


Рис. 5. Залежність коефіцієнта використання сили магнітного притискання від висоти нерівності рейкової колії для односекційного (крива 1) та двосекційного (крива 2) магнітного блоку

стями рейкової колії ($h_{LR} = 0 \div 4$ мм). Двосекційні магнітні блоки доцільніше використовувати у підготовчих виробках з більшими нерівностями.

Висновки. У результаті виконаних теоретичних досліджень встановлено, що двосекційний магнітний блок при роботі на ділянках рейкової колії з нерівностями має більші значення основних кількісних показників ефективності застосування. Використання односекційного блоку не забезпечує зупинку шахтного поїзда на нормованому гальмівному шляху при наявності нерівностей рейкової колії висотою до 10 мм. Областю ефективного використання односекційного блоку є капітальні відкаточні виробки з мінімальними нерівностями рейкової колії ($h_{LR} = 0 \div 4$ мм), двосекційні магнітні блоки доцільніше використовувати у підготовчих виробках з більшими нерівностями.

Список літератури

1. Кузнецов Б. А. Транспорт на горных предприятиях / Кузнецов Б. А., Ренгевич А. А., Биличенко Н. Я. . – М.: Недра, 1976. – 552 с.
2. Салов В.А. Определение характеристик магниторельсового тормоза шахтного локомотива при движении по рельсовому стыку / В. А. Салов, В. А. Сердюк // Вибрации в технике и технологиях. – 2000. – № 4 (16). – С. 56 – 58.
2. А. с. 1076343 СССР, МКИ⁴ Б 61 Н 7/08. Тормозная система рельсового подвижного состава / В. Б. Шашкин, В. Н. Дорожкин (СССР). – № 3525630/27-11; заявл. 10.12.82; опубл. 28.02.84; Бюл. №8. – 3 с.
3. Наукове обґрунтування параметрів магніторейкових систем шахтних локомотивів: звіт про НДР (заключний) / Національний гірничий університет; кер. І. О. Таран; № ДР 0105U009159. – Дн-ськ, 2007. – 56 с.
4. Процив В. В. Моделирование процесса торможения шахтного поезда магниторельсовым догрузателем / В. В. Процив, А. В. Новицкий // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2012): – матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Х.: Херсонська державна морська академія, 2012. – С. 129 – 134.
5. Процив В. В. Исследование влияния стыковых неровностей на показатели эффективности магниторельсовых систем шахтных локомотивов / В. В. Процив, И.А. Таран, А. В. Новицкий // Вісник КНУ – 2014. – №36. – С. 83 – 87.
6. Процив В. В. Моделирование торможения шахтного поезда на заданном участке пути: монография / В. В. Процив. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 208 с.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Коптовцем О.М.

УДК 622.625.28-592.112(043.5)

А.Н. Коптовец, д-р техн. наук

(Україна, Днепропетровск, Государственное ВУЗ «Национальный горный университет»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО НАГРУЖЕНИЯ КОЛОДОЧНО-КОЛЕСНОГО ТОРМОЗА

Введение. Решение контактных задач с трением, построение моделей трибомеханики в тормозостроении не применяется. Торможение рассматривается как задача в механике твердого тела в виде эмпирической науки о трении. В теории контактирования твердых тел вибрационное нагружение нормаль-