

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ШАХТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Определено, что наиболее перспективным типом шахтных локомотивов для угольных шахт Украины есть тяжелые шарнирно-сочлененные. Такие локомотивы должны иметь многократное резервирование тормозных устройств, создающих тормозную силу как в контакте колеса и рельса, так и рельсовыми тормозами. Актуальными становятся автоматические системы, отслеживающие максимально возможный коэффициент сцепления колеса и рельса в данных условиях движения и предотвращающие появление юза.

Визначено, що найперспективнішим типом шахтних локомотивів для вугільних шахт України є важкі шарнірно-зчленовані. Такі локомотиви повинні мати багаторазове резервування гальмівних пристроїв, що створюють гальмівну силу як в контакті колеса і рейки, так і рейковими гальмами. Актуальними стають автоматичні системи, що відстежують максимально можливий коефіцієнт зчеплення колеса і рейки в даних умовах руху, і запобігають появі юза.

It is certain, that the heavy joint-jointed are the most perspective type of mine locomotives for the coal mines of Ukraine. Such locomotives must have frequent reservation of brake devices, creating brake force both in the contact of wheel and rail, and by rail brakes. The automatic systems watching a maximally possible coefficient of rolling friction wheel and rail in the given terms of motion and preventing appearance of braking skidding is actual.

**Вступление.** Рельсовый локомотивный транспорт является основным средством транспортирования горной массы, оборудования, людей и материалов по горизонтальным выработкам горных предприятий. Но надежность тормозных систем шахтных локомотивов не позволяет увеличивать его производительность при безопасной эксплуатации, особенно при подземной добыче угля, главного энергоносителя Украины.

Повышение производительности внутришахтного рельсового транспорта возможно при увеличении массы и скорости движения поездов и зависит от применяемых на локомотиве тормозных устройств. Поскольку на шахтных вагонетках тормоза отсутствуют, то реализуемая локомотивом тормозная сила при торможении колесно-колодочным тормозом и системой динамического торможения ограничивается условиями взаимодействия колеса с рельсом, а отсутствие систем автоматического слежения за коэффициентом сцепления колеса и рельса приводит к недоиспользованию тормозных возможностей локомотива. Использование рельсовых тормозов снижает тормозной путь поезда, но поскольку развиваемая ими тормозная сила не регулируется, то при их включении возникают существенные продольные динамические нагрузки на подвижной состав.

Известно, что шахтные локомотивы в подземных условиях обслуживают сравнительно небольшие участки рельсовых путей (как правило, до 10 км), а наиболее тяжелые поезда в грузовом направлении движутся на расстояния не более 2,5...3,5 км, потому наиболее тяжелые участки пути (с большим продольным уклоном, малым радиусом кривой в плане, ступеньками и проседаниями рельсовых стыков, уширениями рельсовой колеи и т.п.) могут быть заранее определены как потенциально опасные.

**Целью** настоящей работы есть определение путей развития шахтного рельсового транспорта, повышающих тормозные возможности локомотивов.

**Задачей работы** есть определение перспектив повышения тормозных характеристик шахтных локомотивов тормозными устройствами различных типов, для транспортирования грузов по рельсовым путям магистральных и вспомогательных выработок угольных шахт Украины.

**Изложение материалов исследования.** Существенное увеличение допустимой массы поезда по условию торможения на нормируемом тормозном пути (40 м для грузовых составов и 20 м – при перевозке людей) [1] возможно при использовании максимально больших тормозных моментов, не приводящих к срыву сцепления колеса и рельса, а также применении средств внеколесного торможения – магниторельсовых и гравитационных тормозов с регулируемой силой торможения.

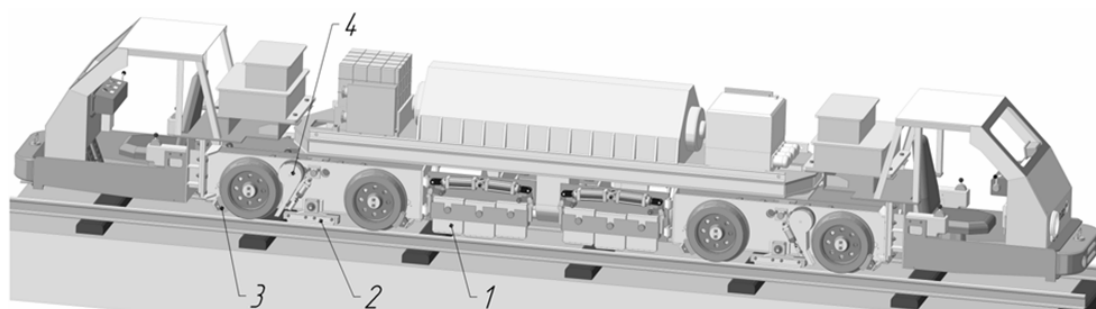


Рис. 1. Шахтный шарнирно-сочлененный локомотив Э10

Наиболее предпочтительными для использования на угольных шахтах Украины есть тяжелые локомотивы со сцепной массой 10 и более тонн. Однако при таком весе их габаритные размеры и, прежде всего, жесткая база (расстояние между осями колесных пар) значительно возрастают. Это мешает устойчивому движению и вписыванию в кривые малого радиуса шахтных рельсовых путей.

Наиболее перспективными в этом плане представляются шарнирно-сочлененные локомотивы, например кабельный электровоз Э10 [2], – головной образец из семейства модульных шахтных локомотивов, разработанный в ГВУЗ «НГУ» в 90-х годах, и показанный на рис. 1. Он содержит оборудованные кабинами две тяговые и промежуточную (среднюю) секции. Система энергоснабжения локомотива размещена на средней секции и может быть кабельной, контактной, аккумуляторной или гироскопической. На тяговой секции размещены секционные магниторельсовые 1, гравитационные 2 и колесно-колодочные 3 тормоза. Значительно повышает эффективность торможения подсыпка песка на дорожки катания рельсов, поэтому локомотив оборудован динамической песочницей 4 барабанного типа.

Традиционно в конструкции шахтных локомотивов применяют колесно-колодочный тормоз, (рис. 2), но создаваемая им тормозная сила существенно зависит от скорости движения поезда, состояния рельсового пути и температуры

нагрева тормозных колодок, что не позволяет в полной мере реализовывать возможный коэффициент сцепления колеса и рельса. Применяемые в транспортных системах дисковые тормоза не имеют этого недостатка, а тормозная сила магниторельсового тормоза не зависит от сцепной массы локомотива. Гравитационные рельсовые тормоза дают возможность не только удерживать шахтный поезд на стоянке, но и экстренно его затормаживать.

Наличие нескольких тормозных устройств различных типов позволяет осуществлять торможение как каждым из них в отдельности, так и одновременно несколькими. Это дает возможность создать тормозную систему шахтного локомотива, имеющую многократное резервирование. Использование колесно-колодочного тормоза должно быть обязательным при каждом торможении, но с его помощью следует создавать только около 25 % требуемой тормозной силы. Это позволит зачищать дорожки катания колес от угольно-породных загрязнений, повсеместно распространенных в шахтах, что повышает коэффициент сцепления колеса и рельса не только при торможении, но и при тяге. Остальные две трети тормозной силы могут формироваться дисковым трансмиссионным тормозом, а при выходе его из строя – дисковым осевым.

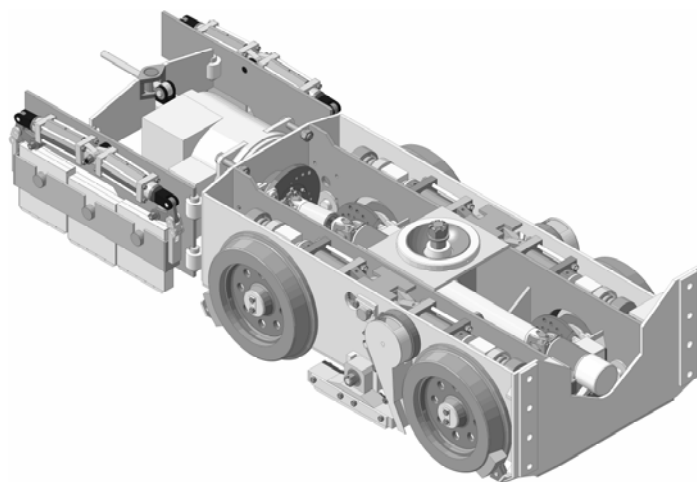


Рис. 2. Тележка шарнирно-сочлененного локомотива Э10

Поскольку вагонетки шахтного поезда не имеют тормозных устройств, то шахтный локомотив должен быть способен создать требуемую для остановки поезда тормозную силу только собственными тормозами, при этом приведенный коэффициент сцепления всего поезда  $\psi_{\Pi}$  будет значительно ниже, чем коэффициент сцепления локомотива  $\psi$ . Его определяют по выражению [3] как

$$\psi_{\Pi} = \frac{F_m + W_x + W_{\theta}}{G_{\Pi} + G_{\theta}},$$

где  $F_m$  – тормозные силы, возникающие в точках контакта дорожек катания рельсов и колес локомотива, Н;

$W_x$  – сила продольного упругого скольжения колес локомотива в точке контакта с рельсами, Н;

$W_g$  – сила продольного сопротивления движению колес вагонеток в точке контакта с рельсами, Н;

$G_d, G_g$  – сила тяжести локомотива и вагонеток соответственно, Н.

Дополнительную тормозную силу могут создать магниторельсовые тормоза. Наиболее перспективными из них следует считать тормоза на постоянных магнитах, прежде всего магнитопластах неодим–железо–бор. Эти магниты имеют высокую точность изготовления, неподвержены коррозии и устойчивы к значительным ударным нагрузкам (до 500g). Для изготовления токопроводов и полюсных накопечников наилучшим образом подходит первичное железо марки PI-9.95 (с содержанием железа от 99,95 % до 99,99 %). Хорошая теплопроводность и высокий коэффициент трения при большой коррозионной устойчивости делают этот магнитомягкий материал наиболее перспективным для изготовления магниторельсовых тормозов шахтных локомотивов.

Наилучшие возможности для регулирования тормозной силы магниторельсового тормоза дают секционные тормоза, в которых тормозные секции опускаются на рельсы последовательно одна за другой. Создаваемая ими тормозная сила при этом возрастает ступенчато, а общее количество уровней торможения может равняться 12.

Значительный запас по надежности имеет гравитационный рельсовый тормоз. Обычно он включается в случае необходимости экстренного торможения. Тогда из гидроцилиндров подвески локомотива сливается рабочая жидкость и рама тяговой секции опускается до касания тормозными колодками гравитационного тормоза головок рельсов, – начинается процесс торможения с постоянной тормозной силой. Однако, если применить гравитационный тормоз с подрессоренной колодкой, то тормозную силу можно регулировать изменяя высоту опускания рамы секции и, соответственно, величину деформации ресоры тормозной колодки гравитационного тормоза.

Совместное использование секционного магниторельсового тормоза и гравитационного с подрессоренной колодкой позволяет не только плавно регулировать тормозную силу (рывки от ступенчатого включения магниторельсового тормоза будут сглаживаться плавным возрастанием тормозной силы на гравитационном), но и гарантированно останавливать шахтный поезд на участках рельсовой колеи с величиной продольного уклона пути до 50 %.

В отличие от железнодорожного транспорта, на шахтном рельсовом пока отсутствуют серийно выпускаемые системы автоматического контроля за коэффициентом сцепления колеса и рельса, что не позволяет заблокировать колеса локомотива при торможении и, соответственно, недопустить появления юза. Такие системы могут определять величину относительно скольжения колеса по рельсу, вычисляя ее по показаниям датчиков переносной и окружной скорости колес, и в зависимости от ее значения уменьшать прикладываемый к тормозным устройствам тормозной момент, или увеличивать его для достижения минимально возможного значения тормозного пути шахтного поезда.

Кроме того, если режим экстренного торможения устройствами, реализующими тормозную силу в контакте колеса и рельса, оказался недостаточно эффективным (величина замедления поезда не достигла заранее установленного минимального значения), то система автоматически включит магниторельсовые тормоза, а затем и гравитационные. Это позволит машинисту избежать ошибок в управлении шахтным локомотивом и гарантированно остановить поезд на минимально возможном для данной дорожной обстановки тормозном пути.

**Выводы.** 1. Наиболее перспективными для шахт Украины являются шарнирно-сочлененные локомотивы со сцепной массой 10 и более тонн.

2. Использование колесно-колодочного тормоза должно быть обязательным при каждом торможении, но с его помощью следует создавать только около 25 % требуемой тормозной силы. Это позволит зачищать дорожки катания колес от угольно-породных загрязнений, повсеместно распространенных в шахтах. Таким образом, повышается коэффициент сцепления колеса и рельса не только при торможении, но и при тяге. Остальные две трети тормозной силы могут формироваться дисковым трансмиссионным тормозом, а при выходе его из строя – дисковым осевым.

3. Наиболее перспективными магнитотвердыми материалами для секционных магниторельсовых тормозов следует считать магнитопласты неодим–железо–бор. Эти магниты имеют высокую точность изготовления, неподвержены коррозии и устойчивы к значительным ударным нагрузкам (до 500g). Для токопроводов и полюсных наконечников наилучшим образом подходит первичное железо марки ПІ-9.95 (с содержанием железа от 99,95 % до 99,99 %). Хорошая теплопроводность и высокий коэффициент трения при высокой коррозионной устойчивости делают этот магнитомягкий материал наиболее перспективным для изготовления магниторельсовых тормозов шахтных локомотивов.

5. Совместное использование секционного магниторельсового тормоза и гравитационного с подрессоренной колодкой позволяет не только плавно регулировать тормозную силу (рывки от ступенчатого включения магниторельсового тормоза будут сглаживаться плавным возрастанием тормозной силы на гравитационном), но и гарантированно останавливать шахтный поезд на участках рельсовой колеи с величиной продольного уклона пути до 50 ‰.

#### Список литературы

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01-10. – К.: Друкарня ДП «Редакція журналу «Охорона праці». – 2010. – 430 с.
2. Мишин В. В. Математическая модель шахтного секционного локомотива в кривой / В. В. Мишин, О. Б. Зайцева // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 4. – С. 71 – 74.
3. Коптовец А. Н. Исследование тормозной эффективности шахтных поездов / А. Н. Коптовец, С. Ф. Шибалов, А. В. Новицкий // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – 2004. – Вып. 203. – С. 56 – 61.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.  
Надійшла до редакції 26.04.11*