

Выводы.

1. Применение АБС в значительной степени повышает уровень активной безопасности двухколесной техники.

2. На первом этапе разработки целесообразно применять пакет AMESIM для исследования работы системы.

УДК 631.362.35.06:635.21

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДА СДВОЕННЫХ КОЛЁС КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА

Бобровник А.И.¹, Поздняков Н.А.², Варфоломеева Т.А.³, Гедроить Г.И.³

¹Белорусский национальный технический университет

²ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

³Белорусский государственный аграрный технический университет

Основным видом технологического транспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом является автомобильный, который во всем мире используется для перевозки от 80 до 100% всей горной массы. Преимущество карьерного автотранспорта перед другими видами транспорта объясняется такими неоспоримыми достоинствами как мобильность, гибкость, автономность, возможность обеспечения высокой интенсивности горных работ и др. С ним не могут пока в полной мере конкурировать другие виды транспорта. Недаром производством карьерных самосвалов в США и Японии занимаются 10 ведущих машиностроительных компаний, выпускающих десятки базовых моделей самосвалов и их модификации грузоподъемностью от 25 до 360 т. Однако имеется потребность в самосвалах грузоподъемностью 560 т и более. Наиболее крупным производителем большегрузных карьерных самосвалов является ПО «БелАЗ», на долю которого приходится 33% мирового рынка этой продукции [1]. Учитывая тенденции увеличения объемов добычи минерального и энергетического сырья, ведущие машиностроительные фирмы направляют основные усилия на модернизацию базовых моделей, повышая их качество. В настоящее время основные компоновочные схемы отработаны. Принципиально конструктивно-технологические решения по ходовой части, опорным конструкциям практически одинаковы для всех моделей, выпускаемых различными мировыми производителями, но при разработке перспективных схем самосвалов особо большой грузоподъемности могут появиться нетрадиционные, «неклассические» компоновочные схемы. Расширение типоразмерного ряда в сторону увеличения грузоподъемности машин сдерживается отсутствием ходовых систем необходимой грузоподъемности.

В настоящее время автомобильный транспорт может обеспечить практически любую производительность карьера по горной массе. Однако возможности автотранспорта ограничены для сверхкрупных карьеров. Нынешний этап развития открытых горных работ характеризуется большим уходом горных работ на глубину до 350-500 м. При таких глубинах производительность автотранспорта снижается в несколько раз, энергоемкость транспортного процесса увеличивается. С увеличением глубины карьеров снижается рабочий ресурс самосвала из-за повышения нагрузок на все их системы, растет потребность в запчастях, что все вместе приводит к увеличению доли затрат на автотранспорт до 55-60% в общей себестоимости добычи полезного ископаемого. В этой связи необходимо искать другие технологические схемы, снижающие нагрузку на автотранспорт. Данная статья посвящена вопросу повышения эксплуатационных качеств привода сдвоенных колес карьерного самосвала.

В зависимости от формы залегания, параметров рудного тела, глубины карьера, масштабов производства и других факторов используют спиральные, петлевые, прямые, скользящие и комбинированные виды съездов, обеспечивающие транспортную связь вскрышных и добычных горизонтов с технологическим комплексом на поверхности (рис. 1, 2). Спиральные автомобильные съезды обеспечивают отработку залежи на больших глубинах (150-450 м) при ограниченной протяженности фронта горных работ на нижних горизонтах при достаточно больших радиусах поворота и относительно высоких скоростях движения. Спиральный съезд может иметь длину более четырех километров при средневзвешенном уклоне 7%. Весь съезд состоит из участков протяженностью от 20 до 70 м с уклоном 0-12%. Общая протяженность участков с уклонами 9-12% составляет примерно 25% от общей длины. Петлевые автомобильные съезды эффективны на карьерах больших глубин. Коэффициент развития трассы составляет 1,05-1,25 при величине радиуса серпантинности 20-50 м [1].

Комбинированные съезды применяют при вскрытии рудных тел сложной конфигурации. Устраиваются сопрягаемые кривые, соединяющие одну форму трассы с другой. Наиболее типичны комбинированные постоянные съезды в карьерах, где спиральная форма переходит в петлевую. В глубоких карьерах элементы спиральной и петлевой формы трасс последовательно чередуются. В связи с ростом темпов научно-технического прогресса, увеличением глубины карьеров, совершенствованием транспортных схем специалисты сформулировали свои взгляды на совершенствование карьерных самосвалов, которые сводятся к следующему: соответствие модели горнотехническим, горно-геологическим, климатическим условиям эксплуатации, габариты машины не должны превышать значений, характерных для эксплуатируемых в настоящее время и установленного класса

грузоподъемности, а вместимость кузова применительно к породам месторождения должна обеспечить коэффициент использования грузоподъемности, близкий к единице, надежность машины при достигнутом уровне ТО должно обеспечивать коэффициент технической готовности не менее 0,85, самосвал должен иметь низкий расход топлива, масел, минимальный выброс вредных веществ в атмосферу, срок службы должен обеспечивать минимальную себестоимость транспортировки горной массы.

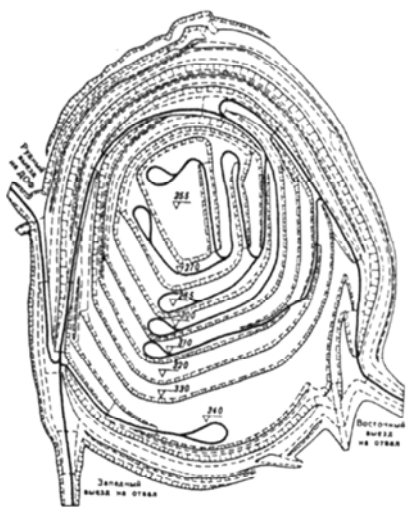


Рис. 1. Схема вскрывающих автомобильных съездов спиральной формы



Рис. 2. Схема петлевых автомобильных съездов в карьере

Все карьерные автомобили-самосвалы имеют две принципиально компоновочные схемы. Первая — так называемая «классическая».

Свыше 70% всех карьерных самосвалов в мире выполнено по колесной формуле 4x2. Достоинством классической компоновочной схемы является простота конструкции, надежность, малый радиус поворота. Недостатки — неравномерное распределение весовой нагрузки по осям - в пропорции 1:2, то есть на переднюю ось приходится 1/3 всей нагрузки, а на заднюю — 2/3. И хотя такое распределение нагрузки компенсируется в большей степени двойной ошиновкой задних колес, неравномерного износа шин передних и задних колес избежать не удастся. Для улучшения маневренности самосвалов они выпускаются с короткой базой и передним расположением кабины. Достоинство самосвалов с шарнирно-сочленённой рамой с колесной формулой 4x4 большой грузоподъёмности является обеспечение более высокой маневренности с радиусом поворота 6-7 м и более равномерным

распределением весовой нагрузки на передние и задние шины, а недостаток — большая конструктивная сложность и вследствие этого большие затраты на обслуживание [1]. Устойчивая тенденция нарастания глубины карьеров при соответствующем увеличении расстояния транспортирования предопределила стратегическое направление в развитии карьерного автотранспорта — переход на увеличение производства автосамосвалов особо большой грузоподъёмности.

Основным техническим решением при создании самосвалов более высокой грузоподъёмности является применение колёс с бескамерными шинами большой размерности 21.00-35 диагональной конструкции. Применение бескамерных шин позволяет повысить безопасность эксплуатации самосвалов. При бескамерном варианте воздух постепенно выходит из шины, давление падает медленно, и аварийная ситуация не возникает. Улучшаются условия работы шин со значительным снижением выделяемого тепла, что обеспечивает увеличение их ходимости на 8-10% [1]. Эксплуатация шин показывает, что в 55%-65% случаев они работают с перегрузом, что крайне отрицательно сказывается на их ресурсе.

Горнотехнические условия эксплуатации карьерных самосвалов с каждым годом усложняются. Так, например, на Удачинском ГОКе величина среднего уклона составляет $i_{cp} = 50-60\%$, а время движения автосамосвала с грузом — 65% общего времени транспортного цикла. Проведенные экспериментальные исследования с помощью специальной аппаратуры показали распределение нагрузки, приведенное в таблице №1 [1].

Требуемая мощность двигателя самосвала N (кВт) является переменной.

$$N = 10^{-3} K_n G V \eta_{тр} (v_0 + i),$$

где K_n — коэффициент затрат мощности на вспомогательные приводы (вентиляторы охлаждения, гидронасосы и другие узлы);

G — масса груженого самосвала, т;

V — скорость движения, м/с;

$\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии;

v_0 — коэффициент сопротивления качению при криволинейном движении;

i — уклон дороги.

Затраты на вспомогательные приводы составляют в среднем 10% от номинальной мощности, поэтому $K_n = 1,1$. КПД трансмиссии двухосного самосвала $\eta_{тр} = 0,85$. Коэффициент сопротивления качению $v_0 = 0,02-0,03$. Тогда скорость двухосного самосвала с колесной формулой 4к2 (м/с)

$$V = N \eta_{тр} / G(0,03 + i) K_n = 727,7 N_{уд} / (0,03 + i),$$

где $N_{уд} = N_{дв} / G$ — удельная мощность автосамосвала, кВт (мощность, приходящаяся на единицу массы гружёной машины).

Методами математической статистики обработки данных различных моделей карьерных самосвалов грузоподъемностью 25-320 т., изготовленных за последние 40 лет различными фирмами, средняя удельная мощность самосвалов до 100 кВт составила 5-5,5 кВт/т, свыше 100 т — 4,4-4,8 кВт/т.

Таблица 1. Распределение режимов движения самосвалов в глубоких карьерах

Направление движения	Режим движения	Распределение по времени, %	Распределение по пройденному пути, %
С грузом на подъём от забоя до отвала	Тяговый	98	96
	Тормозной	2	-
	Накат		4
Порожняком под уклон от отвала до забоя	Тяговый	40	37
	Тормозной	27	24
	Накат	33	39
С грузом под уклон от отвала до забоя	Тяговый	35	33
	Тормозной	34	40
	Накат	31	27

Скорость современных самосвалов в нагруженном состоянии на подъёмах карьерных дорог с уклоном 8% составляет 11-15 км/ч, что значительно ниже безопасной скорости движения в карьере. Скоростные свойства гружёных самосвалов ограничиваются техническими возможностями машин. Время прохождения подъёмов в большинстве случаев занимает значительную часть суммарного времени цикла движения. Учитывая общие тенденции повышения производительности и как следствие — скорости движения можно считать закономерным на ближайший период некоторое увеличение мощности силовых установок для повышения технической скорости на подъёмах до 18 км/ч. На спуске максимальная скорость ограничивается только условиями безопасности и составляет 30-40 км/ч.

Среди основных линейных параметров автосамосвала наряду с габаритами считается радиус поворота. При прохождении кривых участков возникают дополнительные нагрузки на узлы и системы автомобиля, поэтому значения допустимых скоростей движения необходимо корректировать поправочными коэффициентами, учитывающими величину радиуса кривизны и поперечного уклона дороги (таблица 2).

Выполнение данных требований по снижению скорости движения автосамосвала по предварительным расчетам позволяет повысить ресурс шин на ряде карьеров в 1,5-2,5 раза [1]. С увеличением скорости движения самосвала величина коэффициента сцепления несколько снижается (таблица 3).

При криволинейном движении карьерного самосвала между сдвоенными колёсами в тяговом, тормозном режимах и при накате возникает цирку-

ляция мощности, так как наружное и внутреннее колеса левого или правого бортов карьерного самосвала движутся с разной скоростью при прохождении различного пути, зависящего от радиуса поворота и нагрузки на колесо. При движении на повороте возникает угловая деформация шины, нарастающая по мере увеличения поворачивающего момента до тех пор, пока в пятне контакта шины с опорной поверхностью сохраняется сцепление. В пределах упругой деформации шина разворачивается относительно пятна контакта на некоторый угол. Деформация шины растет с увеличением приложенного к ней момента до потери сцепления с опорной поверхностью.

Таблица 2. Поправочные коэффициенты, корректирующие скорость автосамосвала при движении по кривым

Радиус кривизны, м	Поперечный уклон дороги, %	Поправочные Коэффициенты
15	0–2	0,70–0,80
	3–6	0,83–0,85
20	0–2	0,87–0,89
	3–6	0,91–0,93
25	0–2	0,94–0,95
	3–6	0,96–0,98
30	0–2	0,96–0,97
	3–6	0,98–0,99

Таблица 3. Коэффициент сцепления колес со щебёночным покрытием постоянных автодорог (Сарбайский карьер)

Скорость, км/ч	Сухое покрытие				Мокрое покрытие			
	Продольный уклон дороги, %							
	0	3	7	9	0	3	7	9
10	0,72	0,71	0,69	0,65	0,55	0,55	0,54	0,48
20	0,72	0,70	0,67	0,62	0,54	0,53	0,51	0,47
30	0,69	0,69	0,66	0,59	0,53	0,52	0,50	0,44
40	0,68	0,68	0,64	0,57	0,51	0,51	0,49	0,43

Значение коэффициента сцепления ведущих колес автомобиля с дорожным покрытием приведено в таблице 4

Предлагается конструкция нового опорно-сцепного устройства для сдваивания задних колёс с возможностью передачи крутящего момента при криволинейном движении на наружное колесо или его отсоединение и движения в ведомом режиме при одновременной передаче крутящего момента на внутреннее колесо рис. 3 [2].

Таблица 4. Значение коэффициента сцепления колёс с дорожным покрытием при прямолинейном движении

Вид дороги	Коэффициент сцепления при состоянии дороги	
	сухом	мокроем
Постоянная		
Щебёночная с поверхностной обработкой	0,75	0,5
Щебёночная укатанная	0,7	0,45
Асфальтовая	0,7	0,4
Асфальтобетонная	0,7	0,45
Временная		
Забойная укатанная	0,6	0,4...0,5
Отвальная укатанная	0,4...0,5	0,2...0,3
Покрытая снегом	0,2...0,5	0,12...0,18

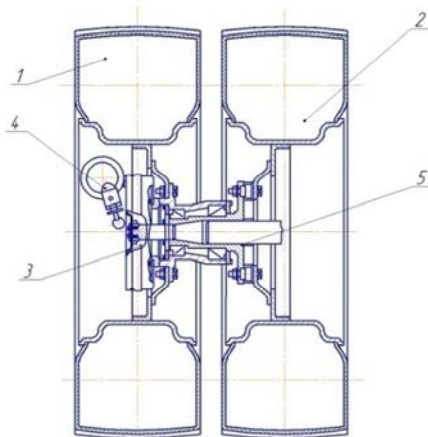


Рис. 3. Опорно-сцепное устройство задних колёс:

- 1 – наружное колесо; 2 – внутреннее колесо; 3 – механизм включения и выключения; 4 – пневмокамера; 5 – вал консольный

Такое опорно-сцепное устройство устанавливается относительно продольной оси карьерного автотранспорта с обеих сторон. По расчётным данным установка предложенного устройства позволит уменьшить циркуляцию мощности на бортах сдвоенных колес, снизить нагруженность трансмиссии, у карьерного самосвала, улучшить управляемость. В насто-

ящее время макетный образец опорно-цепного устройства разрабатывается на ОАО «МТЗ».

Литература

1 Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н. Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы.- СПб.: Наука 2004.-429 с.

2 Патент на полезную модель №6695 МПК В 60С 3/00. Устройство для улучшения опорно-цепной проходимости // БГАТУ / Прищепов М.А., Карпович С.К., Бобровник А.И. и др.

УДК 629.03

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СУХИМ ФРИКЦИОННЫМ СЦЕПЛЕНИЕМ НА СТЕНДЕ

О.С. Руктешель, В.А. Кусяк, А.А. Филимонов
Белорусский национальный технический университет

Работоспособность автоматизированной мехатронной системы управления силовым агрегатом, созданной на кафедре «Автомобили» БНТУ, и, в частности, работоспособность алгоритма трогания автомобиля с места, подтверждена полунатурным экспериментом на испытательном стенде [1]. Мехатронная система создана на платформе смарт-контроллеров esomat R360 [2] серии CR2500 (ifm electronic, Германия), объединенных в сеть посредством CAN-шины и обменивающиеся информацией по протоколу высокого уровня SAE J1939 [3].

Имитация наиболее сложных для автоматизации процессов трогания с места на I-й и II-й передаче, выполнялась на стенде, оснащённом маховой массой с моментом инерции, эквивалентным поступательно движущемуся автомобилю массой 20 т.

Некоторые результаты эксперимента по исследованию процесса трогания с места в автоматическом режиме управления силовым агрегатом приведены на рисунках 1 и 2.

Как видно из представленной записи (см. рисунок 1), весь процесс трогания с места в автоматическом режиме работы силового агрегата (с момента перевода селектора до возврата рычага сцепления в исходную позицию) происходит за время $t_{\text{общ}}=5,2$ с. При этом, сцепление выключается за 0,12 с, включение передачи в основной и дополнительных коробках происходит за 0,65 с.

При включении сцепления его рычаг перемещается из крайнего поло-