



**Басс К. М. /к. т. н./**  
ГВУЗ «Национальный  
горный университет»



**Кривда В. В.**  
ГВУЗ «Национальный  
горный университет»



**Швец Д. В.**  
ГП «ГПИ  
«Кривбасспроект»



**Бабий Е. В. /к. т. н./**  
Институт геотехнической  
механики им. Н. С. Поля-  
кова НАН Украины

## Параметры транспортных коммуникаций на глубоких карьерах при применении усовершенствованных автосамосвалов

Обоснованы параметры транспортных коммуникаций на глубоких горизонтах карьера при применении усовершенствованных конструкций автосамосвалов. Установлена эффективность изменения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ) на базе моделей карьерных автосамосвалов БелАЗ. Оптимизирована технологическая транспортная схема Лебединского и Стойло-Лебединского карьеров, применение которой позволяет снизить затраты на транспорт. Ил. 7. Табл. 3. Библиогр.: 5 назв.

**Ключевые слова:** карьер, технологические транспортные коммуникации, автосамосвал, радиус разворота, разработка глубоких горизонтов, целики полезного ископаемого под коммуникациями

*Parameters of transportation lines on deep layers of open pits during usage of improved design of dump trucks are proved. The effectiveness of change of centre of mass and center of distance on the base of open-pit dump truck models BelAZ is stated. Technologic traffic diagram of Lebedinskiy and Stoylo-Lebedinskiy open pits, application of which will allow to reduce costs for transport, was optimized.*

**Keywords:** open pit, technologic transportation lines, dump truck, turning radius, development of deep layers, fares of mineral wealth under utility lines

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Грузотранспортную связь между добычными участками и перегрузочными пунктами в карьерах, при использовании автомобильного транспорта, подразделяют на автомобильную, автомобильно-железнодорожную и автомобильно-конвейерную. Трассы автомобильных дорог имеют сложную конструкцию и состоят из горизонтальных и наклонных, прямолинейных и криволинейных участков, серпантинных и разворотных площадок (часть площади на борту карьера, предназначенной для разворота автосамосвалов).

При проектировании транспортных коммуникаций и рассмотрении рационального использования внутрикарьерного пространства особую актуальность занимают петлевые съезды, включающие разворотные площадки. Параметры разворотных площадок зависят от применяемого технологического автомобильного транспорта в карьере. Проблема формирования петлевых съездов заключается в консервации большей части борта карьера в плане и соответственно умень-

шения вскрытых и подготовленных к выемке запасов. Разворотная площадка имеет максимальную ширину в месте примыкания автомобильных дорог (рис. 1).

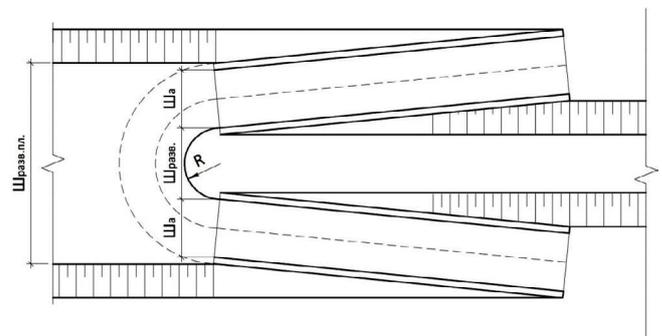


Рис. 1. Схема внутрикарьерной разворотной площадки

Разворотная площадка на криволинейных участках автодороги состоит из двух проезжих частей (одной или двополосных) и криволинейного участка. Параметры криволинейного участка определяются исходя из конструктивных особенностей применяемых карьерных автосамосвалов. Ширину разворотной площадки определяют по выражению

$$Ш_{разв.пл.} = 2 Ш_a + Ш_{разв.} \quad (1)$$

где  $Ш_{разв.пл.}$  – ширина разворотной площадки, м;  
 $Ш_a$  – ширина проезжей части автодороги, м;  $Ш_{разв.}$  – ширина криволинейного участка, определяется радиусом разворота, соответствующего параметрам применяемого карьерного автосамосвала, м.

Согласно нормативным документам [1], «в особенно ограниченных условиях на внутрикарьерных и отвальных дорогах минимальный радиус горизонтальной кривой допускается принимать не меньше 2-х конструктивных радиусов поворота для одиночных карьерных автомобилей, и не меньше 3 – для тягачей с полуприцепами»:

$$Ш_{разв.} = 2 R_0 \quad (2)$$

где  $R_0$  – конструктивный радиус разворота автосамосвала, м.

Таким образом, параметры разворотных площадок проезжей части зависят от конструктивных особенностей автосамосвалов.

**Анализ исследований и публикаций**

Взаимосвязь между параметрами технологического автомобильного транспорта и параметрами системы открытой разработки, с учетом возможности применения автосамосвалов усовершенствованной конструкции, позволяющей изменять технологические параметры (радиусы поворота, уклоны автомобильных дорог), не исследовалась. Не установлено влияние изменения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ) карьерных автосамосвалов на параметры транспортных коммуникаций карьера.

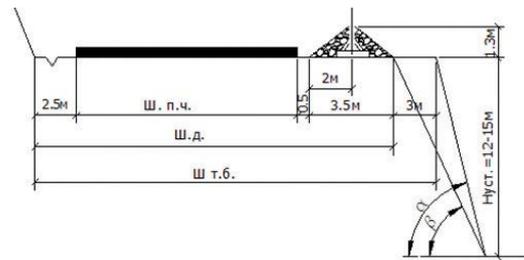


Рис. 2. Параметры карьерной автодороги по скальным породам

**Постановка задачи**

Достичь уменьшения ширины разворотной площадки петлевого съезда, ширины проезжей части и криволинейного участка путем применения карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции.

**Изложение результатов исследования**

Ширина дорог в карьере определяется количеством полос (одно- или двополосные), предохранительными бермами и ограждающими сооружениями. Предохранительные бермы в свою очередь зависят от скорости движения автосамосвалов  $v$ , угла естественного откоса уступа  $\beta$ , угла откоса уступа  $\alpha$  и параметров предохранительного вала и дренажной канавки (рис. 2) Ширина проезжей части автодороги  $Ш_a$  может определяться несколькими способами. В нормативных документах ширина проезжей части автомобильных дорог регламентируется в зависимости от категории дороги, глубины карьера и габаритов автомобиля (ширины по зеркалам). Так согласно [1, табл. 7.18] для автосамосвала БелАЗ-7512 грузоподъемностью 120 т, у которого ширина по зеркалам 7000 мм, по кузову 6400 мм, ширина проезжей части должна составлять не меньше величин, указанных в табл. 1.

Таблица 1. Ширина проезжей части при одно- и двухполосном движении автомобилей

Параметры поперечного профиля	Значения параметров для дорог категории											
	I-к				II-к				III-к			IV-к
	при условии расположения автодороги на глубине карьера, м											
	до 50	50-100	100-200	более 200	до 50	50-100	100-200	более 200	до 50	50-100	более 100	любая глубина
Количество полос движения	2	2	2	2	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
Ширина проезжей части, м (для автомобиля шириной, м)												
6,4	25,0	22,5	20,0	19,0	24,0/ 9,0	22,0/ 9,0	19,5/ 9,0	18,5/ 9,0	23,0/ 8,5	20,0/ 8,5	18,0/ 8,5	17,0/ 8,5
7,8	31,0	29,0	25,0	24,0	30,0/ 10,5	28,0/ 10,5	24,5/ 10,5	23,5/ 10,5	29,0/ 10,0	26,0/ 10,0	23,0/ 10,0	21,5/ 10,0

В табл. 2 приведены расчетные данные по формулам Ржевского В. В. [2], Дриженко А. Ю. [3], Потапова М. Г. [4] и из нормативного документа [1] для модели автосамосвала БелАЗ-7512.

Таблица 2. Расчетные данные ширины проезжей части автодороги

Метод определения	Расчетная формула	Ширина проезжей части автодороги, м
Ржевский В. В.	$Ш_a = 2(a + y) + x,$ где $y = 0,5;$ $x = 0,5 + 0,005v$	15,52-15,75
Дриженко А. Ю.	$Ш_a = 2(a + y) + x,$ где $x = 2y;$ $y = 0,5 + 0,05v$	16,8-26,0
Потапов М. Г.	$Ш_a = B = 2\alpha k_v + \Delta B_r$	26,2-30,4
Нормы технологического проектирования	25,0-18,0 м в зависимости от глубины расположения	18,5 для глубоких горизонтов

Примечание. В расчетных формулах параметры обозначают: а - ширина автомобиля, м; у - ширина обочин, м; х - ширина между кузовами встречных автомобилей, м;  $k_v$  - коэффициент, учитывающий суммарную скорость встречных автомашин,  $\Delta B_r$  - величина, учитывающая габариты, м.

Технологические автомобильные дороги в зависимости от назначения и грузонапряженности делятся на категории с I-к по IV-к [1]. Применяют несколько способов расчета ширины карьерных автодорог в зависимости от скорости движения автосамосвала. При этом для глубоких горизонтов карьера минимальная ширина проезжей части двух полосной автодороги составляет 18,5 м.

Исследуемая в работе ширина автодороги относится к местам примыкания к криволинейным участкам: круговым участкам и серпантинам, петлевым съездам. На этих участках дороги скорость автосамосвала снижается. Максимально допустимая скорость на криволинейных участках рассчитывается по формуле [1]:

$$V = \sqrt{127 R(\gamma_2 \varphi_2 + i)} \quad (3)$$

где  $R$  - радиус кривой в плане, м;  $V$  - расчетная скорость движения, км/ч;  $\gamma_2 \varphi_2$  - используемая часть коэффициента поперечного сцепления, принятая 0,18 для скорости до 20 км/ч и 0,15 - для скорости 70 км/ч (промежуточные данные вычисляются интерполяцией);  $i$  - поперечный уклон дорожного покрытия, част. един.

Безопасная скорость движения (м/с) по криволинейному участку по формуле В. В. Ржевского [2] определяется следующим образом:

$$V_{без} = \sqrt{gR(\psi_{ск} \pm i_{п})} \quad (4)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\psi_{ск}$  - коэффициент бокового скольжения (сцепления) колес;  $i_{п}$  - поперечный уклон проезжей части дороги.

Аналитические исследования максимально допустимой и безопасной скорости движения

автосамосвала показаны на рис. 3. В нормативных документах [1] ограничение скорости движения на криволинейных участках с радиусом поворота 7-15 м дается в интервале 13-18 км/ч.

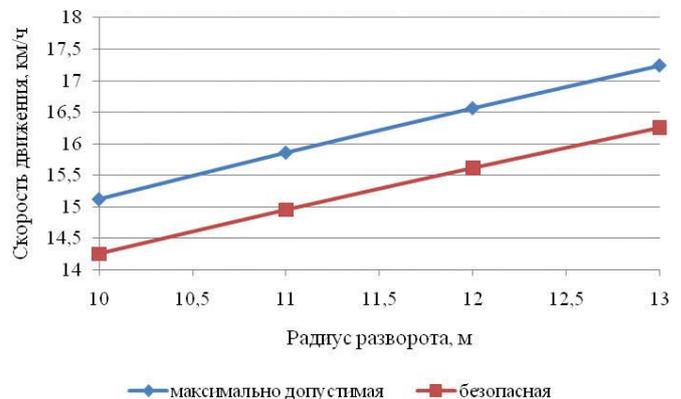


Рис. 3. Зависимость скорости движения от радиуса поворота автосамосвала

Таким образом, ширину автодороги для автосамосвалов типа БелАЗ-7512, примыкающей к круговым участкам и серпантинам, принимаем относительно максимально допустимой скорости 14-18 км/ч в размере 18-18,5 м, что соответствует расчетам по формуле Дриженко А. Ю. (см. табл. 2) и нормативным документам (см. табл. 1).

При петлевых съездах прямолинейные участки соединяются круговыми кривыми и серпантинами. Параметры этих участков зависят от габаритов и радиуса разворота автотранспорта, радиуса поворота участка.

Уменьшения параметров транспортных коммуникаций можно достичь путем применения автосамосвалов БелАЗ-7512 усовершенствованной конструкции. Применение в автосамосвалах механизма изменения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ), отображенного на рис. 4 [5], позволяет уменьшить радиусы поворота и увеличить угол подъема автодорог.

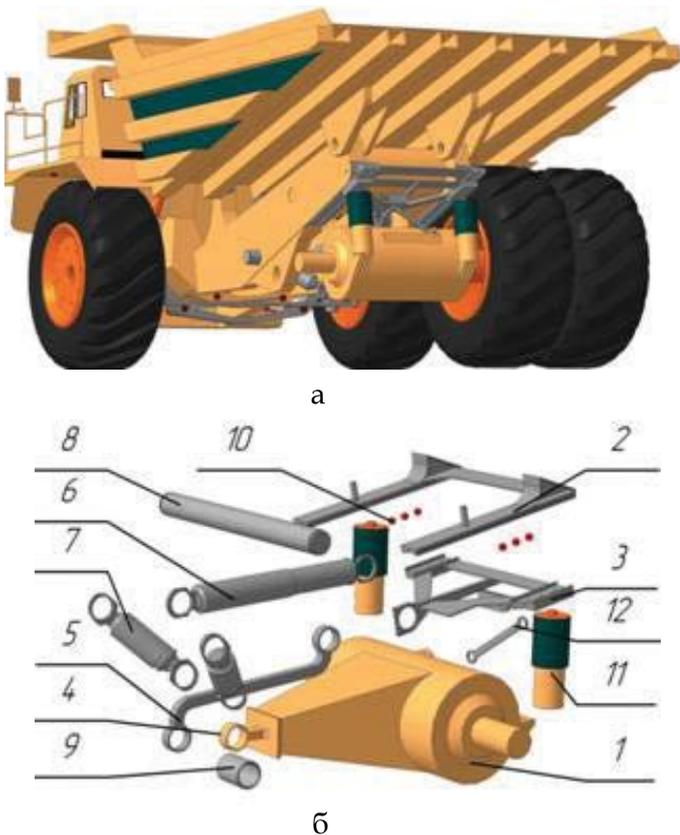


Рис. 4. Механизм изменения центра масс и межосевого расстояния: а) расположение МЦМ на раме автосамосвала; б) структура МЦМ: 1 – задний ведущий мост со встроенными в ступицы тяговыми электродвигателями; 2 – направляющие салазки; 3 – ползун; 4 – проушина косынки ведущего моста; 5 – штанга; 6 – гидроцилиндр ползуна; 7 – гидроцилиндр косынки ведущего моста; 8 – шток; 9 – втулка; 10 – шарик; 11 – пружин, демпфирующий элемент; 12 – поперечная тяга

МЦМ включает в себя основной, базирующийся на раме элемент – салазки, на которых, с возможностью продольного перемещения, позиционируется ползун с закрепленными на нем упругими элементами, продольными рычагами и задним мостом. В процессе транспортирования горной массы карьерным автосамосвалом по дороге с продольным уклоном данную механическую систему синхронизируют 3 рабочих гидроцилиндра, позволяющие в рабочем процессе менять конфигурацию базы автосамосвала.

При применении к карьерным автосамосвалам модели типа БелАЗ-7512 конструкции МЦМ [5] радиус поворота можно уменьшить до 10 м, что в свою очередь существенно повлияет на ширину петлевого съезда.

Параметры криволинейного участка зависят главным образом от радиуса поворота автодороги, а он определяется конструктивным радиусом разворота автосамосвала. Таким образом, учитывая формулу (2) параметры разворотной площадки можно уменьшить только за счет уменьшения угла поворота трассы при применении автосамосвалов с конструкцией МЦМ. Расчетные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3. Расчет ширины площадки для разворота автосамосвала

Ширина проезжей части, м	Водоотводящие сооружения, м	Ограждающий вал, м	Ширина бермы безопасности, м	Радиус разворота автосамосвала, м	Ширина круговой кривой	Ширина разворотной площадки, м
18,5	2,5	4	3	13	26	72,5
18,5	2,5	4	3	12	24	70,5
18,5	2,5	4	3	11	22	68,5
18,5	2,5	4	3	10	20	66,5

Анализ приведенного расчета ширины площадки для разворота автосамосвала свидетельствует о возможности ее уменьшения на 6 м, что составляет 8,2 %. По планам развития горных работ железорудных месторождений в пределах рабочего борта карьера применяют в среднем от 2-3 до 5-6 петлевых съездов. Экономический эффект при использовании автосамосвалов усовершенствованной конструкции заключается в рациональном использовании внутрикарьерного пространства, возможности поставить борт под более крутым углом, уменьшить параметры внутрикарьерных автомобильных дорог, вскрытии дополнительных балансовых запасов руды.

Полученные результаты уменьшения ширины площадки для разворота автосамосвала в стесненных условиях на глубоких горизонтах были рассмотрены для условий карьера ОАО «Лебединский ГОК».

По состоянию горных работ на 01.01.2014 г. карьер ОАО «Лебединский ГОК» вскрыт до горизонта минус 228 м. Глубина карьера от поверхности составляет 430 м, длина по поверхности – 4447 м, ширина – 3185 м, площадь карьера – 1208,8 га. Производственная мощность составляет 48,5 млн т руды в год. Это крупнейший карьер, в котором для транспортирования горной массы применяет автомобильный, железнодорожный и гидравлический транспорт. Автомобильный транспорт обслуживает центральную зону карьера между горизонтами 30-минус 228 м. Технологические постоянные автомобильные дороги занимают северо-восточный, юго-восточный и юго-западный борт карьера.

Для детального изучения возможности уменьшения целиков под транспортными коммуникациями был рассмотрен участок на юго-востоке карьера, который содержит 6 петлевых съездов. Выкопировка из плана горных работ приведена на рис. 5.

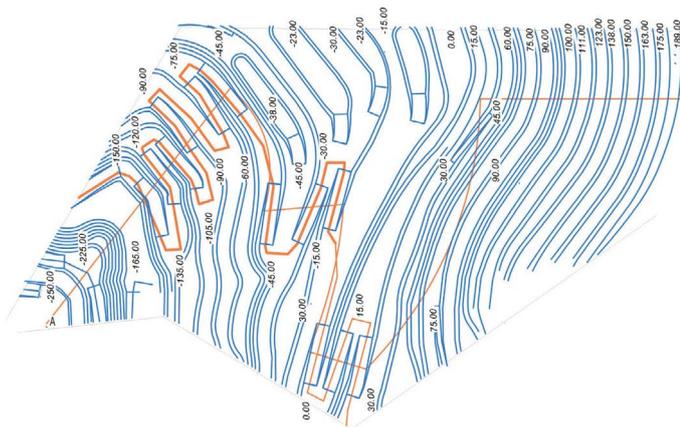


Рис. 5. Выкопировка плана горных работ юго-восточного борта карьера ОАО «Лебединский ГОК»

Теоретические исследования показали, что уменьшение параметров петлевого съезда возможно только за счет уменьшения криволинейного участка, который определяется конструктивным радиусом автосамосвала. Соответственно применение автосамосвалов с МЦМ позволяет уменьшить ширину одной площадки с 72,5 до 66 м, а по 6-ти петлевым съездам в плане высвободятся 36 м (рис. 6).



Рис. 6. Разрез по юго-восточному борту карьера

На разрезе (см. рис. 6) совмещены существующее положение горных работ (верхняя ломаная линия) и рекомендуемое положение при уменьшении участков петлевых съездов (нижняя линия). Расчет объема горной массы в пределах юго-восточного борта протяженностью 950 м по верхнему горизонту (под транспортными коммуникациями) от горизонта 30 м и до дна карьера минус 250 м (граница подсчета балансовых геологических запасов) показал, что можно извлечь без дополнительного разноса борта 4,75 млн м<sup>3</sup> горной массы, которые находятся в целиках под грузотранспортными коммуникациями. В тоже время, для перемещения нижнего горизонта по дну карьера в размере 36 м при существующей технологической транспортной схеме ведения горных работ необходимо вынуть 14,25 млн м<sup>3</sup> горной массы. Это следует из разреза, приведенного на рис. 7.



Рис. 7. Извлечение объемов горной массы при существующих технологических схемах карьера ОАО «Лебединский ГОК»

Учитывая горно-геологическое строение месторождения, определен объем законсервированной руды под грузотранспортными автомобильными коммуникациями.

Он позволил определить экономический эффект применения автосамосвалов усовершенствованной конструкции

Анализ геологической документации и планов развития горных работ до 2025 года показал, что в горной массе по юго-восточному направлению развития ведения открытых горных работ коэффициент вскрыши составляет 0,47 м<sup>3</sup>/т. Железные руды располагаются ниже горизонта 90 м, а горная масса с горизонта 90 м и до горизонта 189 м относится к объему рыхлых вскрышных пород. Рассчитанный объем руды в расконсервированном участке ведения горных работ под технологическими транспортными коммуникациями, с учетом плотности руды (3,41 м<sup>3</sup>/т), составляет 8,1 млн т. Это позволяет при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции достичь экономического эффекта в сумме 452,3 млн грн. за счет рациональных параметров петлевых съездов.

### Выводы и направление дальнейших исследований

1. На глубоких горизонтах карьеров в стесненных условиях применение автосамосвалов усовершенствованной конструкции позволяет рационально использовать внутрикарьерное пространство за счет уменьшения параметров транспортных коммуникаций.

2. На примере карьера ОАО «Лебединский ГОК» выполнены исследования изменения параметров транспортных коммуникаций по юго-восточному борту, которые показали возможность уменьшения целиков под транспортными коммуникациями в объеме 4,75 млн м<sup>3</sup> по горной массе, в т. ч. 8,1 млн т кондиционных железистых кварцитов, что в дальнейшем позволило обосновать экономический эффект применения автосамосвалов усовершенствованной конструкции.

### Библиографический список

1. СОУ – Н МПП 73.020 – 078 – 2 : 2008 Норми технологичного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина II. Т.1 Відкриті гірничі роботи. – Київ, Міністерство промислової політики України, 2008. – 714 с.
2. Ржевский В. В. Открытые горные работы. / В. В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – Производственные процессы: Учебник для вузов 4-е изд. перераб. и дополн. Ч. 1. – 509 с.
3. Дриженко А. Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы / А. Ю. Дриженко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 542 с.
4. Потапов М. Г. Карьерный транспорт / М. Г. Потапов. – М.: Недра, 1980. – 264 с.
5. Кривда В. В. Обоснование эксплуатационно-технологических параметров карьерных автосамосвалов / Кривда В. В. // Сборник научных трудов НМетАУ «Системні технології». – Днепропетровск. – 2013. – № 4. – С. 56-62.

Поступила 15.05.2014