

УДК 622.684

В.Л. ЯКОВЛЕВ, чл.-кор. РАН;
П.И. ТАРАСОВ, А.Г. ЖУРАВЛЕВ, кандидаты техн. наук
Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

П.Л. МАРИЕВ, д-р техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

ТРЕБОВАНИЯ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

В статье проведен анализ условий эксплуатации автомобильного транспорта на карьерах. По мере углубления карьеров неуклонно усложняются условия эксплуатации карьерных автосамосвалов, что требует совершенствования их конструкции. Показано влияние параметров карьерных автосамосвалов посредством параметров дорог и рабочих площадок на объем дополнительной вскрыши в контурах карьера. Даны рациональные пределы повышения уклонов автодорог, преодолеваемых автосамосвалами, для различных условий карьеров. Представлены направления развития конструкций карьерных автосамосвалов, основанные на требованиях, предъявляемых со стороны открытых горных работ. Одно из направлений — создание специализированных карьерных автотранспортных средств, адаптированных в большой мере к конкретным условиям. Предложен комплекс специализированных транспортных средств: троллейвозы и троллейно-аккумуляторные самосвалы, карьерные автосамосвалы с комбинированной энергосиловой установкой, гусеничные самосвалы, троллей-автопоезда. Показаны области применения классических карьерных автосамосвалов и предлагаемых специализированных.

Ключевые слова: карьерный автосамосвал, геотехнология, карьер, технические и технологические требования

За последние 15 лет при добыче полезных ископаемых открытым способом наметилась тенденция к увеличению объема перевозок технологическим автомобильным транспортом (рисунок 1) как за счет общего увеличения объема добычи горных предприятий после выхода из кризисных процессов, так и за счет все более широкого применения карьерных автосамосвалов, в том числе и перераспределения объема перевозок в пользу автомобильного транспорта [1]. Это объясняется высокой мобильностью и простотой организации забоев и разгрузочных пунктов при автомобильном транспорте, а также относительно невысокими капитальными затратами на приобретение автотранспортных машин.

В то же время по мере неуклонного увеличения глубины карьеров усложняются условия эксплуатации автосамосвалов: растет высота подъема и средневзвешенный уклон автодорог, протяженность наклонных участков пути. Из рисунка 2 вид-

но, что особенно для карьеров, применяющих только автомобильный технологический транспорт, характерно существенное увеличение высоты подъема автосамосвалов по маршруту и соответствующее возрастание расстояния транспортирования.

На карьерах, применяющих комбинированный транспорт, например, автомобильно-железнодорожный с перегрузкой горной массы, увеличение расстояния перевозок и высоты подъема не столь существенно и остается примерно на одном уровне, изменяясь периодически вслед за переносом перегрузочных пунктов в более глубокую зону карьера с ростом глубины карьера (рисунок 3).

Поэтому в ближайшей перспективе карьерные автосамосвалы будут оказывать существенное влияние на параметры карьеров за счет элементов системы разработки: уклона и ширины автодорог,

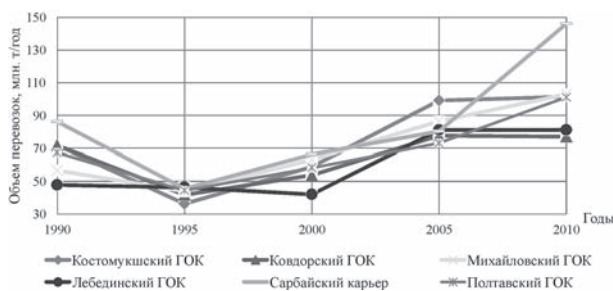


Рисунок 1 — Изменение объема перевозок автомобильным транспортом (карьеры по добыче руд черных и цветных металлов)

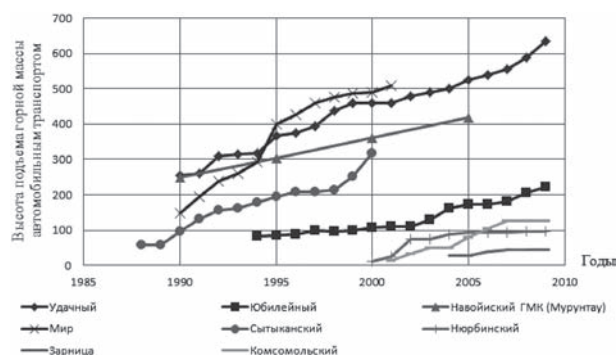


Рисунок 2 — Изменение высоты подъема горной массы автомобильным транспортом по годам (алмазные и золоторудные месторождения)

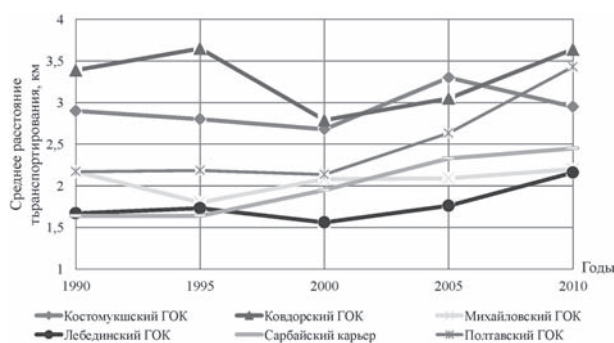


Рисунок 3 — Изменение среднего расстояния транспортирования автомобильным транспортом (карьеры по добыче руд черных и цветных металлов)

ширины рабочих площадок. На рисунке 4 приведена схема, иллюстрирующая конструкцию борта карьера, содержащего в нижней рабочей зоне рабочие площадки, на которых ведутся добычные работы, и нерабочий борт, сложенный транспортными коммуникациями (транспортные бермы) и предохранительными сооружениями (предохранительными бермами, которые аккумулируют осыпавшуюся горную массу).

Чем больше ширина берм, тем меньше угол откоса бортов карьера, а вслед за ним существенно увеличивается разнос бортов и объем дополнительной вскрыши (пустых пород) в контурах карьера. Это видно из рисунка 4: угол откоса рабочего борта γ_1 меньше угла откоса нерабочей части борта, причем на участках, где располагаются транспортные коммуникации (например, бермы с автодорогами), угол откоса γ_2 также уменьша-

ется относительно γ_3 . Результирующий угол откоса борта равен γ_4 .

Углы рабочих бортов карьера составляют на практике 15° — 30° . Нерабочих бортов 40° — 65° . При этом они во многом ограничиваются устойчивым углом откоса пород, из которых сложен борт карьера. Если в верхней части карьера угол откоса определяется именно устойчивостью пород, то в нижней сжатой по размерам зоне карьера зачастую углы откоса бортов определяются элементами системы разработки (рабочими и временно нерабочими площадками, транспортными бермами).

Увеличение ширины рабочей площадки на 1 м (при исходной ширине 50 м) дополнительно увеличивает объем разноса бортов на 350 тыс. м³ при высоте рабочей зоны 100 м.

Поэтому важное значение при совершенствовании конструкций карьерных автосамосвалов ставится уменьшение ширины автосамосвалов при сохранении или снижении радиуса разворота. Это позволит уменьшать ширину как автодорог, так и рабочих площадок, где самосвалы производят маневрирование.

Существенное влияние на разнос бортов карьера оказывает уклон автодорог в нижней ограниченной по размерам части карьера, особенно в той его зоне, где размеры в плане менее 100 м. Зависимость сокращения объема вскрыши от повышения уклона автодорог представлена на рисунке 5. Расчеты проведены на основе результатов моделирования карьера в программе GemcomSurpac.

Видно, что повышение уклона автодорог от 8 % до 25—40 % позволяет добиться сокращения объема

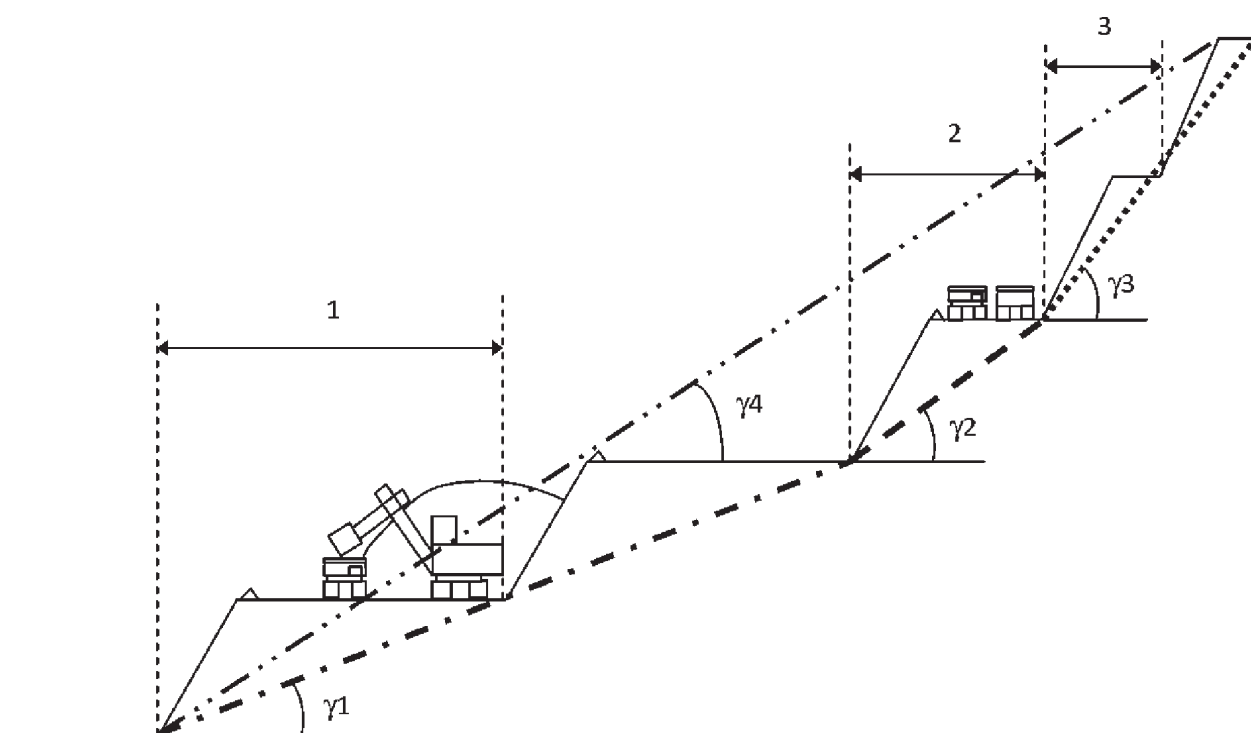


Рисунок 4 — Схема расположения элементов борта карьера:
1 — берма рабочей площадки; 2 — транспортная берма; 3 — предохранительная берма (берма очистки)

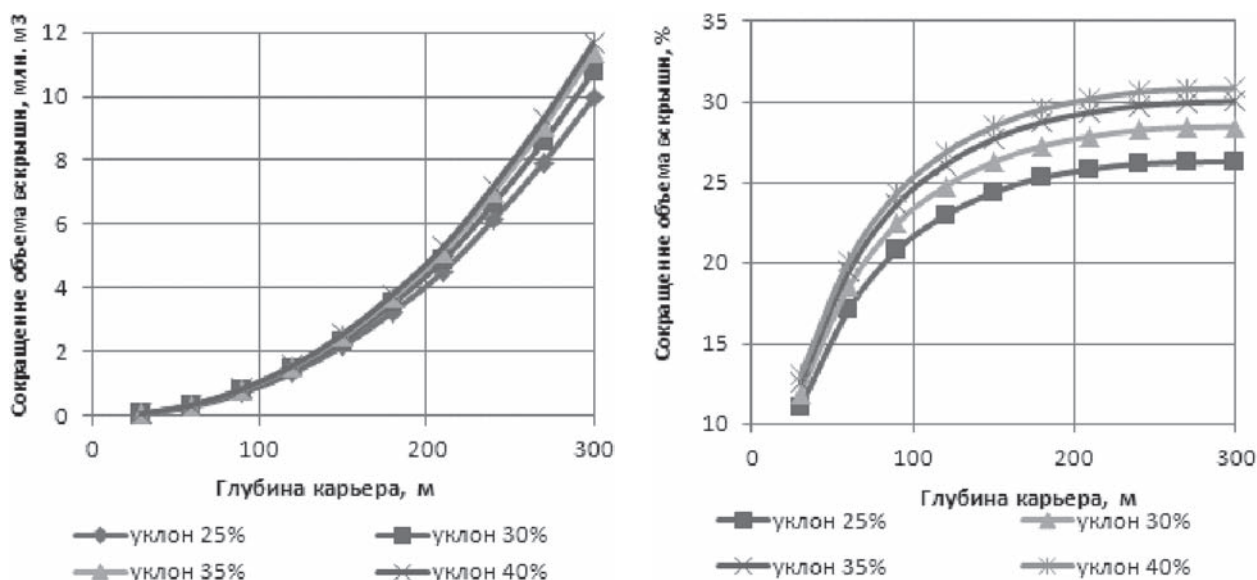


Рисунок 5 — Сокращение объема вскрыши в контуре карьера с размерами дна 75×75 м в зависимости от глубины карьера при увеличении уклона карьерных автодорог относительно уклона 8 %

вскрыши для карьера с размерами дна 75×75 м до 10 млн м³ на глубине 300 м, что в процентном отношении составляет 26—32 %. Также из рисунка 5 следует, что увеличение уклона автодорог более чем на 25—35 % дает все меньший эффект в сокращении объема вскрыши. Расчеты показали, что повышение уклона рационально до величины 15–16 % для большинства карьеров и даст эффект как в сокращении вскрыши, так и в уменьшении расстояния транспортирования. Дальнейшее повышение уклона (до 25 %) рационально только для группы глубоких карьеров с ограниченными размерами дна (до 100—150 м) при доработке нижней части с целью добычи дополнительного объема руды. В отдельных случаях может быть эффективно увеличение уклона до 35—40 % при наличии особых условий в глубинной части карьера и требовании предельного сокращения протяженности автодорог (например, на кимберлитовых карьерах). Но в этом случае по условиям сцепления движителя с дорогой и обеспечения геометрической устойчивости необходимо применение гусеничных самосвалов [2].

С ростом глубины открытых разработок и соответствующих расстояний транспортирования, а также повышением средневзвешенного продольного уклона автодорог возникает потребность совершенствования карьерных автосамосвалов по следующим направлениям:

1. Повышение топливной экономичности карьерного автотранспорта не только за счет снижения удельного расхода топлива двигателями внутреннего сгорания, но и за счет других источников питания, в том числе троллейного, аккумуляторного, либо их различных комбинаций.
2. Сокращение выброса вредных веществ с отработавшими газами, особенно в глубинной зоне карьеров.
3. Повышение эффективности и надежности тормозных систем автотранспортных средств, в том

числе для аварийной остановки на повышенных продольных уклонах автодорог.

4. Изменение геометрических параметров автотранспортных средств и в первую очередь уменьшение ширины, позволяющее сократить ширину транспортных коммуникаций.

5. Перспективным направлением в развитии карьерных автосамосвалов является создание энергосиловых установок с автоматически настраиваемыми параметрами, адаптированными к горнотехническим условиям эксплуатации. Например, система управления питанием дизельного двигателя топливом, выбирающая соответствующую настройку в зависимости от той трассы, по которой движется автосамосвал (тяжелые или легкие условия). Причем этот вопрос должен решаться системно не только отдельно производителями дизельных двигателей или тягового электропривода, а в целом относительно энергосиловой установки как единой системы автосамосвала. Это направление имеет перспективы дальнейшего развития в создании сначала систем помощи водителям в выборе оптимального режима движения и нагружения энергосиловой установки, а затем — полностью автоматического управления автосамосвалами без участия водителей.

6. Обоснование и разработка принципиально новых специальных транспортных средств, которые наиболее полно отвечают своими параметрами и технико-экономическими показателями конкретным условиям эксплуатации на открытых и подземных работах.

Разброс условий эксплуатации автомобильного транспорта на карьерах велик. Даже один карьер в разные периоды существования может характеризоваться различными условиями эксплуатации автосамосвалов. Так, для карьеров глубиной 300—500 м высота рабочей зоны может составлять от 100 м до полной глубины карьера. Тем не менее можно выделить наиболее харак-

терные группы условий эксплуатации карьерного автотранспорта. В качестве определяющего признака при установлении зон предлагается использовать высоту подъема и расстояние транспортирования, в значительной мере определяющие условия эксплуатации автотранспорта. На рисунке 6 представлена область существующих и перспективных условий эксплуатации автотранспорта на карьерах. Здесь не показаны условия на горных карьерах, имеющих ряд существенных отличий и требующих отдельного рассмотрения.

В наиболее часто встречающихся условиях эксплуатации, характеризуемых расстоянием транспортирования до 6 км, высотой подъема до 450–500 м и средневзвешенными уклонами автодорог до 6–7 % (при уклонах съездов 8–12 %), современные карьерные автосамосвалы имеют хорошие технико-экономические показатели. Эта область в последние два десятилетия имеет тенденцию к уверенному расширению. Однако при расстояниях транспортирования более 6–8 км эффективность работы автотранспорта заметно снижается, а их применение продиктовано либо отсутствием технической или инфраструктурной возможности применять альтернативные виды транспорта, либо большим сроком окупаемости, например, железнодорожного транспорта.

Безусловно, основным (превалирующим) транспортом в ближайшем будущем останутся классические карьерные автосамосвалы с дизельным двигателем в сочетании либо с гидромеханической, либо с электромеханической трансмиссией колесной формулой 4×2. Удельная мощность дизельных двигателей всего параметрического ряда карьерных автосамосвалов должна отвечать условиям эксплуатации и наиболее вероятно будет иметь, как минимум, два диапазона — для средних и тяжелых условий эксплуатации.

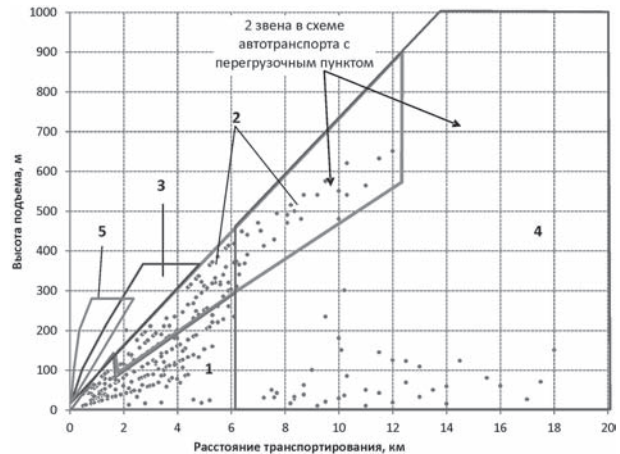


Рисунок 6 — Существующие и перспективные условия эксплуатации автомобильного транспорта на карьерах; точками обозначены конкретные примеры существующих условий эксплуатации на карьерах, цифрами обозначены характерные области применения для:

- 1 — карьерных автосамосвалов 4×2; 2 — автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой;
- 3 — полноприводных автосамосвалов; 4 — троллейвозов;
- 5 — гусеничных самосвалов

При этом скорость движения на восьмипроцентных затяжных подъемах должна составлять 16–20 км/ч.

Но наряду с классическими карьерными автосамосвалами все большее распространение будут находить специализированные и специальные автотранспортные средства.

Перспективным направлением в развитии карьерного автотранспорта является создание специализированного и специального автотранспорта. Под специализацией понимается конструктивные изменения автотранспорта. Специализация требует изменения большого количества узлов и агрегатов, и особенно силовой установки, к которой в современных условиях предъявляются высокие требования

Перегрузочный склад

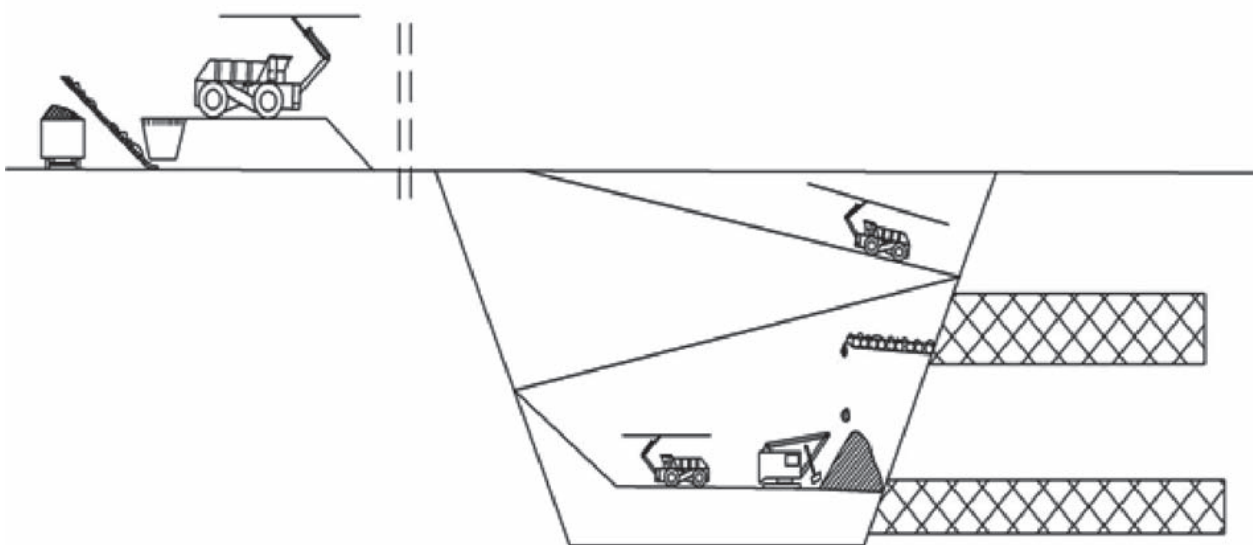


Рисунок 7 — Применение троллейвозного транспорта при перевозке горной массы от перегрузочного пункта в карьере до обогатительной фабрики и склада за пределами карьера

Таблица — Перспективные специализированные мобильные карьерные транспортные средства

№	Название транспортного средства	Энергосиловая установка	По сравнению с автосамосвалом		Условия применения
			преимущества	недостатки	
1	Автосамосвал со специальными тормозами	Дизельный двигатель	Способен работать на уклонах 14 % и более при обеспечении всех требований безопасности	Связаны с недостатками традиционных автосамосвалов	Транспортирование горной массы сверху вниз (нагорные карьеры), сборочный транспорт при расположении пункта перегрузки ниже забоев
2	Троллейвоз	Питание от троллейной сети	Не требуется нефтяное топливо, повышенная производительность, независимость от климатических условий эксплуатации, безгаражное хранение	Низкие автономность и мобильность	Карьеры, расположенные на расстоянии 15—30 км от обогатительных фабрик или на карьерах, имеющих постоянные места погрузки и разгрузки
3	Троллейно-аккумуляторный самосвал	Питание от троллейной сети + аккумулятор энергии	Не требуется нефтяное топливо, безгаражное хранение	Ограничение условий эксплуатации	На глубоких карьерах в качестве магистрального транспорта
4	Автосамосвал с комбинированной энергосиловой установкой (КЭУ)	Газотурбинный двигатель + аккумулятор энергии	Снижается расход топлива, повышается производительность, сохраняется мобильность, автономность, безгаражное хранение	Снижается эффективность работы на дорогах со средневзвешенным уклоном менее 4 % и расстоянием транспортирования менее 2 км	Глубокие карьеры с высотой подъема горной массы не менее 100 м при средневзвешенном уклоне не менее 5 %
5	Углубочный комплекс в составе погрузочного и транспортного средств	В стадии разработки	Работа на больших уклонах (до 35 %) на нижних горизонтах карьеров, возможность доработки запасов ниже проектного дна карьера	Небольшой срок службы техники на гусеничном ходу в условиях карьеров	Расстояние транспортирования 0,3—1,0 км высота подъема до 200 м
6	Троллей-автопоезд (ТАП)	Питание от троллейной сети	Не требуется нефтяное топливо, повышенная производительность, большая грузоподъемность при высокой маневренности и малых размерах поперечного сечения	Низкая автономность, сложность конструкции, специфические условия применения	При комбинированной разработке месторождений (как единое транспортное звено для шахты и карьера) в качестве магистрального транспорта

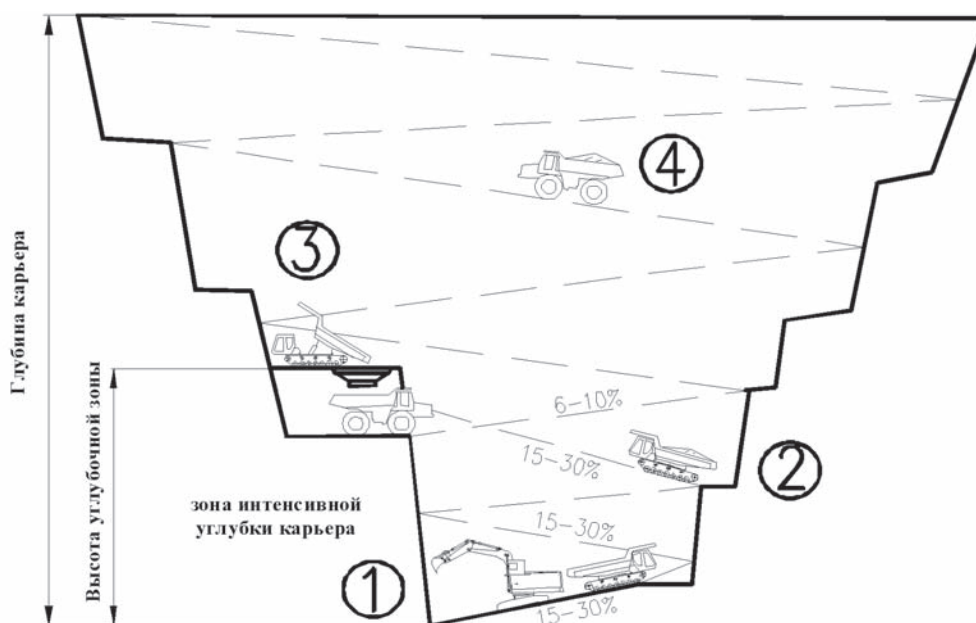


Рисунок 8 — Схема отработки нижней части карьера с использованием углубочного комплекса: 1 — погрузка специализированным экскаватором в гусеничные самосвалы; 2 — транспортировка гусеничными самосвалами на уклоне до 30 %; 3 — перегрузка горной массы в колесные автосамосвалы; 4 — транспортировка колесными автосамосвалами на уклонах 6—10 %

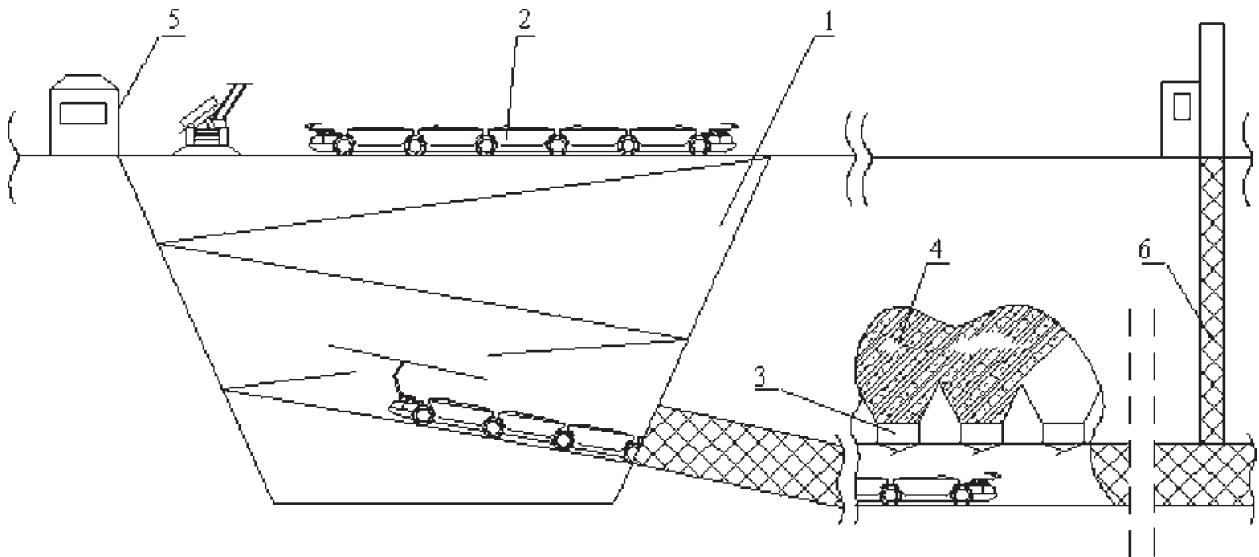


Рисунок 9 — Принципиальная схема применения троллей-автопоезда: 1 — карьер 2 — ТАП; 3 — погрузочный пункт (вибропитатель, грохот); 4 — отбитая руда (рудоспуск); 5 — обогатительная фабрика (перегрузочный пункт); 6 — шахтный ствол

по экологичности, экономичности, надежности при условии обеспечения высокой производительности автосамосвала, то есть скорости и преодолеваемого уклона. Разработка и применение новых типов энергосиловых установок на карьерном автотранспорте целесообразны в том случае, если установки при сохранении достигнутого уровня основных показателей эксплуатации будут иметь ряд преимуществ.

В Институте горного дела УрО РАН предложен комплекс специализированных автотранспортных средств для карьеров (таблица).

Технология их применения представлена на рисунках 7—9.

По рассматриваемым в статье разработкам ведутся совместные исследования с ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» и ОАО «БелАЗ»: выявлены закономерности и получены результаты изменения тяговой динамики, экологичности, экономичности и производительности карьерных самосвалов, предельные возможности при работе их в глубоких карьерах на

дорогах с повышенными уклонами продольного профиля до 40%.

Исследованы критериальные возможности их устойчивости, управляемости, тормозные параметры, определяющие безопасную эксплуатацию.

Исследованы особенности нагружения пневматических шин при движении груженых самосвалов на уклонах, разработаны концептуальные предложения по устранению неравномерности их нагружения.

Обоснованы оптимальные мощностные параметры силовых установок карьерных самосвалов, сформулированы технические требования к базовым компонентам и материалам, которые необходимы для создания перспективной горно-транспортной техники для глубоких карьеров.

Обоснован оптимальный перспективный типоразмерный ряд карьерных самосвалов, в том числе для глубоких карьеров; предложена схема классификации современных самосвалов по конструктивным признакам (рисунок 10).

Карьерные самосвалы грузоподъемностью 22-500 тонн

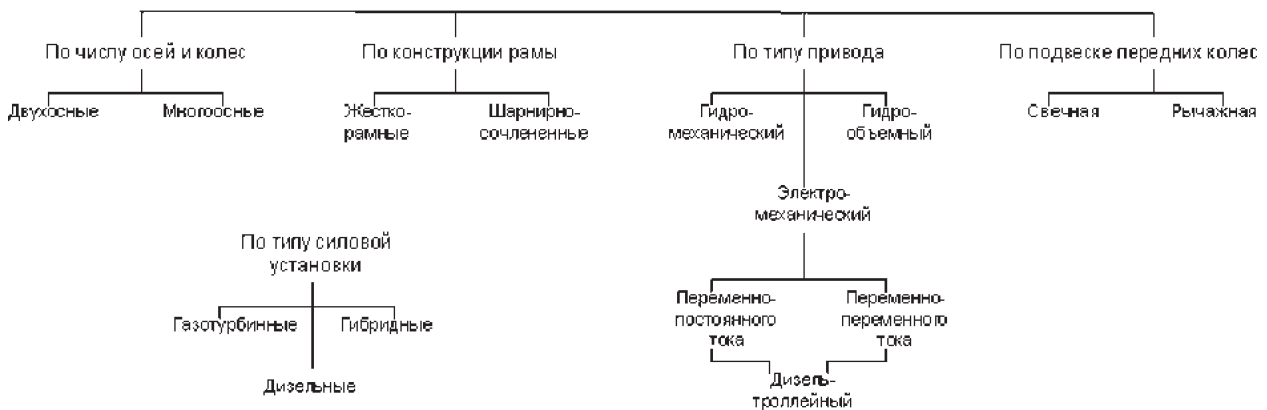


Рисунок 10 — Схема классификации современных самосвалов по конструктивным признакам

Полученные результаты являются базовыми исходными данными для разработки прогрессивных горно-транспортных систем карьеров большой глубины и содержат научные основы оптимизации комплекса характеристик при создании перспективных мобильных горно-транспортных средств для эколого- и энергоэффективной технологии отработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых.

Таким образом, несмотря на достаточно высокий достигнутый технический уровень современных карьерных автосамосвалов, имеются существенные перспективы их совершенствования, что определяется требованиями геотехнологии.

По описанным в статье разработкам ведутся совместные исследования с Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси и ОАО «БелАЗ» — совместный проект Института горного дела УрО РАН и Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (№ проекта УрО РАН 12-С-5-1030).

Список литературы

1. Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990—2010 гг. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011. — 375 с.
2. Тарасов, П.И. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, В.О. Фурин // Горное оборудование и электромеханика. — 2011. — № 9. — С. 2—10.

Yakovlev V.L., Tarasov P.I., Zhuravlev A.G., Mariev P.L.

Demands to improvement of mining dump truck construction

The paper analyzes the operationing conditions of the automobile transport in the open-pit minings. In the process of deepening open-pit minings steadily become more complex conditions of operation of mining dump trucks, which requires improvement of their design. The influence of parameters of mining dump trucks through the parameters of roads and work sites on the amount of the additional stripping in the career are considered. In the paper shows the rational limits of increasing the highway ramps, which are surmounted by mining dump trucks for different open-pit mining. The directions of development of structures of mining dump trucks are presented, based on the requirements from the side of the surface mining. One of the directions is the creation of specialized quarry vehicles, adapted to a large extent to the specific conditions. A complex of specialized vehicles: mining dump trucks with trolley assist and troll-rechargeable mining dump trucks, mining dump trucks with the hybrid power unit, caterpillar mining dump trucks, trolls-the train. The areas of application of the classical mining dump trucks and the proposed specialized are shown.

Поступила в редакцию 09.08.2012.