

УДК 622.271.3.06/622.272.06]:622.6:629.114.3

В.А. Черепанов

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРОЛЛЕЙ-АВТОПОЕЗДОВ

Разработаны технические характеристики троллей-автопоездов различной грузоподъемности. Приведена методика сравнения показателей эксплуатации автопоездов и подземных автосамосвалов, на основании которой показана эффективность применения новой техники.

Ключевые слова: троллей-автопоезд, подземный автосамосвал, комбинированная разработка, технические и технологические характеристики.

На комбинированную открыто-подземную разработку месторождений сегодня переходят предприятия по добыче руд цветных металлов и алмазов, железных и урановых руд, месторождений нерудного сырья (известняк, асбест, магнезит, и др.), угольные месторождения и т.д. Целесообразность перехода на подземный способ разработки рассматривается для условий железорудных месторождений КМА, традиционно разрабатываемых карьерами большой производственной мощности, железорудных месторождений Кривбаса, месторождений: Абаканское, Алын-Топканское, Валуевское, Вишневогорское, Заполярное, Зырянское, Лебяжинское, Лениногорское, Тырныаузский рудник, Бакальское рудоуправление, предприятия Ввысокогорского ГОКа, трубка «Интернациональная», трубка «Мир». На Урале: комбината «Магнезит», месторождений Александринское, Вишневогорское, Гайское, Джусинское, Западно-Озерное, Камаганское, Молодежное, Сафьяновское, Северное, Сибайское, Тарньерское, Учалинское, Чебачье, Юбилейное, и др.

В настоящее время в Институте горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН) совместно с рядом институтов и предприятий ведутся работы по исследованию, разработке и созданию специализированного вида карьерного транспорта — троллейавтопоезда (ТАП) — для комбинированной открыто-подземной разработки месторождений, прототипом которого может служить шахтный автопоезд АШ-75, разработанный совместно ИГД УрО РАН и НИПИГормаш в 1980-х годах [1]. ТАП представляет собой автопоезд (с несколькими вагонами в составе) на колесном ходу с троллейным питанием, вытянутый в длину для достижения высокой грузоподъемности при небольших размерах в поперечном сечении, имеющий две кабины в начале и в конце состава, для реализации принципа челночного движения. Предназначен ТАП в первую очередь для перемещения горной массы из забоя (или перегрузочного пункта) в шахте до поверхности без дополнительных перегрузок, используя карьерное пространство. Не исключается возможность использования дизель-троллейвозного варианта, как и собственно автопоезда (с дизельными двигателями). На сегодняшний день сложились существенные предпосылки к созданию ТАП: 1. Переход ряда предприятий на комбинированную открыто-подземную разработку месторождений; 2. Существование прототипа. Упомя-

нутый выше шахтный автопоезд АШ-75 успешно прошел опытно-промышленные испытания; 3. Эффективность троллейной системы, доказанная опытом применения отечественных и зарубежных дизель-троллейбусов и троллейбусов (при переходе на троллейное питание снижается расход топлива, загазованность рабочего пространства; увеличиваются скорость транспортирования, производительность, преодолеваемый транспортный уклон); 4. Высокие требования к экологичности; 5. Существующий задел в машиностроении; 6. Эффективность применения маневренного автомобильного транспорта в подземных выработках; 7. Существенный объем перегрузочных работ и стесненные условия шахтного пространства.

Нами были выполнены предварительные тягово — динамические расчёты, разработаны компоновочные схемы оборудования с учётом специфики шахтного автопоезда, в том числе компоновка моторной секции, для вариантов автопоездов грузоподъемностью 75 и 150 тонн, и для варианта троллей-автопоезда, грузоподъемностью 75 тонн (табл. 1). Граничными технологическими критериями для расчетов послужили скорость порожнего и груженого автопоезда во взаимосвязи с преодолеваемым уклоном. Техническим граничным критерием выступает мощность энергосиловой установки, размеры которой ограничиваются сжатыми пространствами моторной секции автопоезда. Исходя из этих критериев, преодолеваемый уклон для машины грузоподъемностью 75 т задавался 10^0 , при поддержании скорости груженой машины на данном уклоне 10—12 км/ч, а при грузоподъемности 150 т — 12^0 , при скорости — 12 км/ч. В ходе исследования был выявлен ряд вопросов:

1. Сложность вписать мощное оборудование (тяговые электродвигатели, генераторы, дизельные двигатели) в ограниченное пространство моторных отсеков. Здесь необходимо отметить, что троллейный вариант наиболее выгоден по месторасположению агрегатов в моторном отсеке, т.к. отпадает необходимость размещения здесь габаритных дизельных двигателей и генераторов. Поэтому мощность, а значит и тягово-динамические характеристики ограничиваются лишь мощностью тяговых электродвигателей;

2. Необходимость проработки и изготовления или модернизации специального тягового оборудования для стесненных условий, что на сегодняшний день не выглядит затруднительным;

3. Необходимость разработки механизма движения колес автопоезда «след в след» для уменьшения радиуса поворота и заноса машины (в шахтном автопоезде АШ-75 эта задача в свое время была решена с помощью разработки следящего гидропривода);

4. Необходимость проработки конструктивных решений подземных погрузочных пунктов и перекрытий между вагонами автопоезда для исключения попадания горной массы между вагонами и в подземные выработки;

5. Для троллей-автопоезда необходимо проработать аккумуляторы энергии (как по размерам и массе, так и по энергоемкости), для возможности движения машины на определенные расстояния без контактной сети. Например, контактно-аккумуляторный подземный электровоз КА-25 имеет аккумуляторы, позволяющие двигаться составу на расстояние до 1 км без контактной сети, при массе состава до 120 т [2], а аккумуляторные батареи сегодня выпускаются в сек-

Таблица 1

Технические характеристики автопоездов в зависимости от грузоподъемности и энергосиловой установки

Технические характеристики*	АШ 75 (1980)	АП 75	АП 150	ТАП 75
Грузоподъемность, т	75	75	150	75
Максимальная скорость порожнего автопоезда, км/ч	20	40	50	50
Наименьший внешний радиус поворота, м	15	15	20	15
Преодолеваемый угол подъема, град.	10	10	12	10
Скорость при данном угле подъема, км/ч	–	10	12	12
Минимальное сечение выработки, м ²	10-12	10-12	20	12-14
Грузоподъемность вагона, т	15	15	30	15
Количество грузовых вагонов, шт.	5	5	5	5
Мощность дизельного двигателя, кВт	190	597	1471	Нет
Количество двигателей, шт.	2	2	2	–
Мощность генератора, кВт	215	585	1400	Нет
Мощность ЭД мотор-колес, кВт	45	115	235	115
Кол-во ЭД мотор-колес, шт			12	
Габаритные размеры, мм				
ширина	2500	2500	3250	2500
длина	37000	37000	46850	37000
высота при разгрузке	3000	3000	–	
высота	2000	2000	2900	2000-2900
Масса, т	70	70	140	70
Разгрузка вагонов			боковая	

* В строке АП — автопоезд (с дизельными двигателями в начале и конце состава), ТАП — троллей-автопоезд (только с электродвигателями в мотор-колесах)

ционном исполнении, что дает возможность набирать секции с необходимой энергоемкостью при минимальных затратах места.

Сравним автопоезда с подземными автосамосвалами, как с наиболее близкими по характеристикам и подвижному составу. Произведем оценку некоторых показателей, влияющих на процесс транспортирования горной массы данными машинами — скорости, производительности, а также парка машин — в одинаковых условиях. Для сравнения возьмем автосамосвал МоАЗ-7529, грузоподъемностью 22 т и троллей-автопоезд, грузоподъемностью 75 т. Для указанных марок машин примем подземные выработки с одинаковым поперечным сечением (троллей-автопоезд имеет более высокую грузоподъемность чем подземный автосамосвал, но его компоновка позволяет ему вписываться в выработки 14-16 м², необходимые для принятого автосамосвала, без каких-либо трудностей).

Скорость машин может быть найдена, км/ч

$$V = 3,6 \frac{N\eta_{тп}}{P_k}, \quad (1)$$

где N — мощность двигателя, кВт; $\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии (с учетом вспомогательного оборудования и катализаторов); P_k — сила тяги на колесах, кН.

$$P_k = (m_a + q)g(\sin \alpha \pm f \cos \alpha) + \frac{kFV^2}{1000}, \quad (2)$$

где m_a — масса порожнего транспортного средства, т; q — масса груза, т; g — ускорение свободного падения, $9,8 \text{ м/с}^2$; f — сопротивление качению; $\frac{kFV^2}{1000}$ — сопротивление воздуха, кН, учитывается при движении машин по горизонтальным выработкам протяженностью свыше 500 м и скоростях более 30 км/ч.

Для проверки максимального тягового усилия должно выполняться условие

$$P_k \leq P_{сц} = \varphi(m_a + q)g \cos \alpha, \quad (3)$$

где φ — коэффициент сцепления между колесами и дорожным покрытием.

По требованиям безопасности, расчетную скорость в подземных выработках принимают с ограничением 20 км/ч, при этом на прямолинейных участках длиной более 500 м по согласованию с органами Ростехнадзора допускается увеличение скорости до 40 км/ч. Исходя из выражения 1, 2 и условия 3 прослеживается преимущество автопоездов перед подземными автосамосвалами в скорости в зависимости от преодолеваемого уклона машин. На рис. 1 приведены скорости в грузовом направлении.

Часовая производительность машины, т/ч

$$\Pi = \frac{q}{t_p} = \frac{q}{t_{пор} + t_{гр} + t_{разгр} + t_{пор} + t_{разм}}, \quad (4)$$

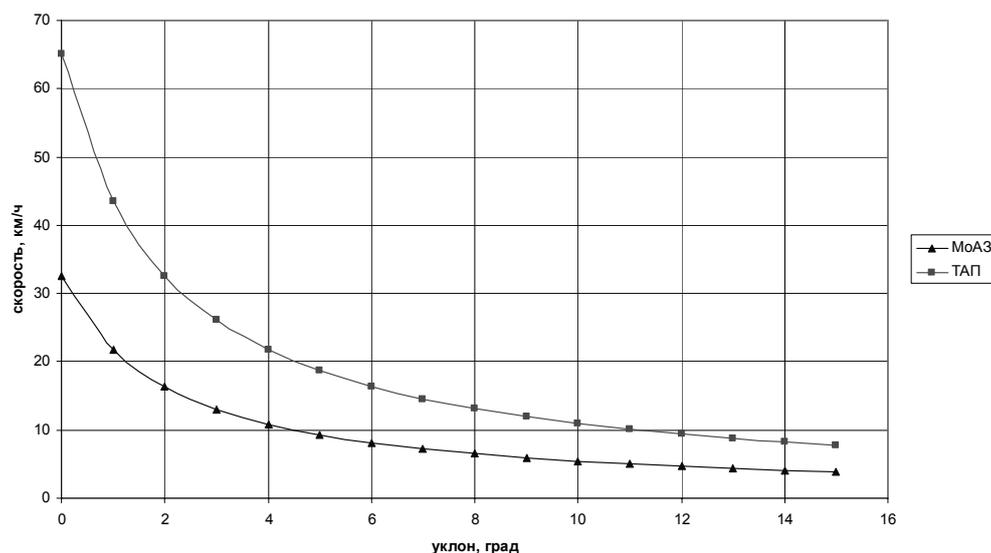


Рис. 1. Зависимость скорости машин от уклона

где q — масса перевезенного груза, т; t_p — время рейса, ч; $t_{погр}$ — время на маневры и погрузку, ч; $t_{гр}$ — время на движение в груженом направлении, ч; $t_{разгр}$ — время на маневры и разгрузку, ч; $t_{пор}$ — время на движение в порожняковом направлении, ч; $t_{разм}$ — время на разминовки, ч (для простоты сравнения предположим что схема движения машин либо кольцевая, либо ширина выработок позволяет осуществлять свободное двустороннее движение, $t_{разм}=0$).

Время на маневры перед погрузкой берется равным 1-1,2 мин., а время самой погрузки машин определяется исходя из выражения

$$t_{погр} = k_3 V_k \gamma / \Pi_{погр}, \quad (5)$$

где $k_3=0,95$ — коэффициент загрузки кузова по объему, V_k — паспортная вместимость кузова, m^3 (для подземного автосамосвала МоАЗ = 11,5–14 m^3 , для одного вагона автопоезда грузоподъемностью 15 т = 9,24 m^3); γ — насыпная плотность руды, t/m^3 (в расчетах примем равной 1,75 t/m^3); $k_3 V_k \gamma = Q$ — расчетная загрузка машины, т; $\Pi_{погр}$ — производительность погрузки, т/ч (примем производительность загрузки вибропитателем ВДПУ-4ТМ=500 т/час).

$$t_p = \frac{L_{гр}}{V_{гр}} + \frac{L_{пор}}{V_{пор}} + t_{погр} + t_{разгр} = \frac{g(\sin \alpha \pm f \cos \alpha)[L_{гр}(m_a + q) + L_{пор}m_a]}{3,6N\eta_{гр}} + \frac{k_3 V_k \gamma}{\Pi_{погр}} + t_{разгр}, \quad (6)$$

где $V_{гр}$ и $L_{гр}$ — скорость машин (км/ч) и расстояние транспортирования (км) в груженом направлении; $V_{пор}$ и $L_{пор}$ — скорость машин (км/ч) и расстояние транспортирования (км) в порожнем направлении, соответственно.

В общем виде, если увеличивать транспортный уклон, то скорость машины будет уменьшаться, а часовая производительность (рис. 2) будет изменяться по следующей формуле (из выражения 4, 6), т/ч

$$\Pi_{ч} = \frac{q}{\frac{g(\sin \alpha \pm f \cos \alpha)[L_{гр}(m_a + q) + L_{пор}m_a]}{3,6N\eta_{гр}} + \frac{k_3 V_k \gamma}{\Pi_{погр}} + t_{разгр}}, \quad (7)$$

При движении по горизонтали и при небольшом уклоне дороги машины могут развить скорость больше, чем 20 км/ч (см. рис. 1) как в грузовом так и в порожнем направлении. Однако по условиям безопасности скорость ограничена величиной 20 км/ч. Условно считаем что движение происходит по прямой без поворотов, без учета среднеходовой скорости движения, ускорений и замедлений, тогда расчетная часовая производительность машины может быть упрощенно выражена в следующем виде, т/ч

$$\Pi_{ч} = \frac{q}{\frac{2L}{20} + t_{погр} + t_{разгр}}, \quad (8)$$

где L — расстояние транспортирования, км (при условии, что $L = L_{гр} = L_{пор}$).

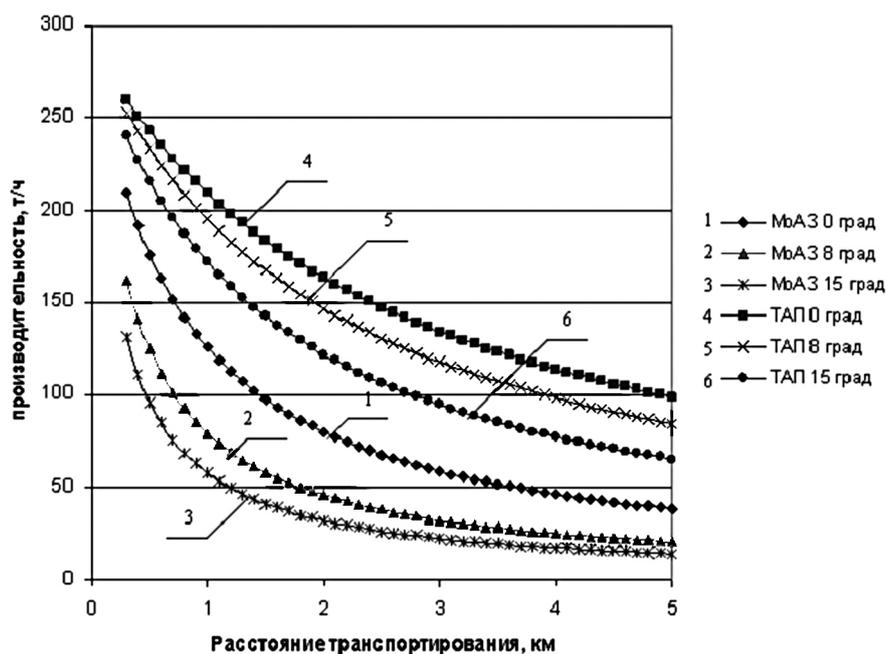


Рис. 2. Зависимость производительности транспорта от расстояния транспортирования (при различном уклоне автодорог)

Для расчета парка машин необходимо учесть ряд коэффициентов. При этом расчетная сменная производительность, т/см

$$\Pi_{см} = t_{см} \frac{Q}{t_p} \cdot \frac{k_i}{k_n}, \quad (9)$$

где $t_{см}$ — сменная продолжительность работы машины, ч/смену; k_i — коэффициент внутрисменного использования работы машины (учитывает работу машины, не связанную с основной); k_n — коэффициент неравномерности при транспортировании полезного ископаемого (например из-за наличия аккумуляторной емкости руды).

Заданная сменная производительность парка машин (получается исходя из максимальной годовой производительности принятой на руднике, количества рабочих дней и смен принятых на предприятии), т/см

$$\Pi'_{см} = \frac{\Pi_{год}}{n_{дн} n_{см}}, \quad (10)$$

где $\Pi_{год}$ — максимальная годовая производительность участка с применяемым оборудованием, т; $n_{дн}$ — количество рабочих дней, принятых на предприятии; $n_{см}$ — количество рабочих смен, принятых на предприятии.

Расчетное число рабочих машин (округляется до большего целого числа), исходя из выражений 6, 9, 10:

$$n = \frac{\Pi'_{см}}{\Pi_{см}} = \frac{\Pi_{год} k_H \left(\frac{g(\sin \alpha \pm f \cos \alpha) [L_{гр} (m_a + q) + L_{пор} m_a]}{3,6 N \eta_{гр}} + \frac{k_s V_k \gamma}{\Pi_{пор}} + t_{разгр} \right)}{Q n_{дн} n_{см} t_{см} k_i}, \quad (11)$$

В инвентарном парке машин необходимо учесть число резервных и ремонтных машин (инвентарное число машин округляется до большего целого числа)

$$n_{ин} = k_{ин} \sum n, \quad (12)$$

где $k_{ин}$ — коэффициент, учитывающий машины в резерве и в ремонте; $\sum n$ — сумма однотипных рабочих машин на всем предприятии (на всех участках).

Примем все необходимые расчетные коэффициенты по среднестатистическим на горных предприятиях: $t_{см} = 7$ ч/см; $k_i = 0,75$; $k_H = 1,2$; $n_{дн} = 305$ дн.; $n_{см} = 3$; $k_{ин} = 1,32$ (принимается в соответствии с [3]). Исходя из выражения 11, 12 возможно проследить зависимость парка машин от годовой производительности рудника и от расстояния транспортирования (рис. 3, 4). При этом в первом случае зададимся постоянным расстоянием транспортирования (1,5 км), а во втором постоянной годовой производительностью рудника (2000 тыс. т/год). Кроме этого для простоты построения графиков движение машин происходит по горизонтали. Таким образом возможный эффект от применения автопоездов будет больше при движении по уклону за счет еще большей разницы в парке машин, в производительности и скорости транспортирования. В общем случае эффективность от внедрения автопоездов может быть достигнута в нескольких аспектах, в зависимости от горно-технических, технологических и технико-экономических условий его эксплуатации (табл. 2).

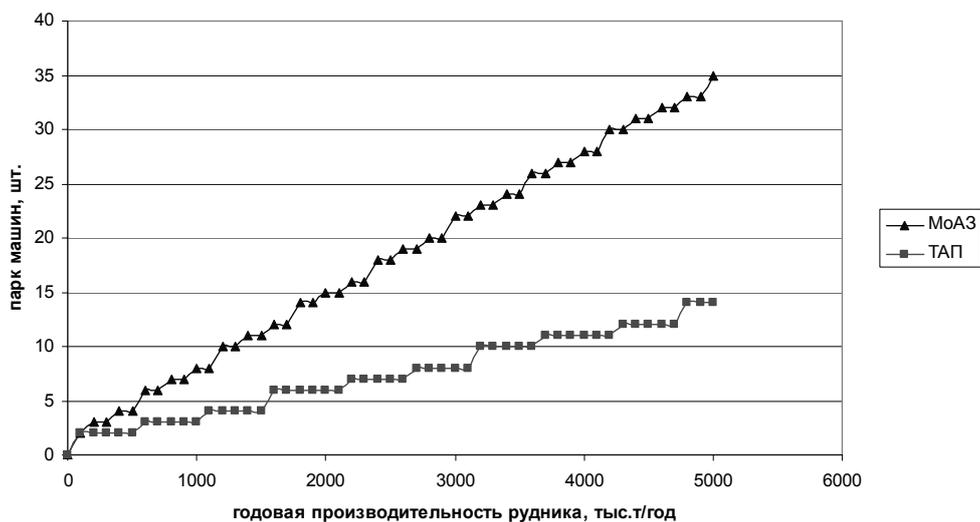


Рис. 3. Зависимость парка машин от годовой производительности рудника при расстоянии транспортирования 1,5 км (движение по горизонтали)

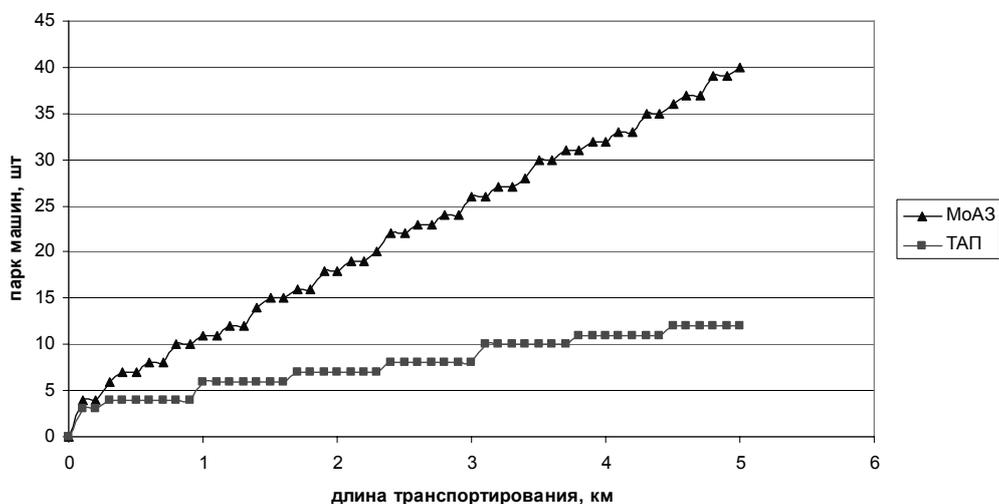


Рис. 4. Зависимость парка машин от расстояния транспортирования при годовой производительности рудника 2000 тыс. т./год (движение по горизонтали)

Таблица 2

Экономическая целесообразность внедрения ТАП в зависимости от области применения

Область применения троллей-автопоездов	Экономическая целесообразность внедрения троллей-автопоездов
<p>1. Эффективность применения троллей-автопоезда достигается преимущественно за счет «изменения» технологии</p> <p>ТАП — основной вид транспорта от забоя до поверхности:</p> <p>а) при совместном вскрытии и отработке карьерных и шахтных полей;</p> <p>б) при вскрытии месторождений наклонным транспортным стволом.</p>	<p>При транспортировании горной массы ТАП непосредственно от забоя или перегрузочного пункта в шахте до поверхности, а соответственно, за счет сокращения горно-капитальных работ.</p> <p>а) при отказе от грузовых вертикальных стволов при комбинированной разработке месторождений.</p> <p>б) при разработке нового месторождения за счет вскрытия автоуклонами.</p>
<p>2. Эффективность применения троллей-автопоезда достигается преимущественно за счет увеличения производительности</p> <p>ТАП — сборочный либо основной транспорт:</p> <p>а) на промежуточных горизонтах в комплексе с другими видами транспорта;</p> <p>б) при отработке изолированных рудных тел (при вскрытии их специальными уклонами и штольнями).</p>	<p>При сохранении относительно малых сечений подземных горных выработок, а соответственно за счет повышения производительности и снижения эксплуатационных затрат:</p> <p>а) при замене стандартных транспортных средств, применяющихся на предприятии для перевозки подземной горной массы на ТАП</p> <p>б) за счет применения ТАП при добыче отдаленных немногочисленных запасов</p>

Эффект от внедрения ТАП может быть получен по двум основным направлениям:

1. за счет сокращения горно-капитальных работ.
2. за счет увеличения производительности.

В приведенном материале рассмотрено 2 направление, когда целесообразность применения автопоездов проявляется в результате повышения производительности и снижения эксплуатационных затрат по сравнению с существующей техникой. Рассмотренная методика приведена для сравнения показателей эксплуатации автопоездов и подземных автосамосвалов в общем виде и с некоторыми допущениями и показывает преимущества новой техники, а также может быть применена исходя из реальных условий эксплуатации для дальнейшей экономической оценки. Еще больший эффект от внедрения ТАП ожидается в результате сокращения объема горно-капитальных работ (например, при отказе от строительства вертикальных грузовых стволов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов П.И. Троллей-автопоезда — транспорт для комбинированной разработки месторождений полезных ископаемых / П.И. Тарасов, В.А. Черепанов // Горная промышленность, 2008. — №5 (81) — С. 72-79.
2. Описание работы контактно-аккумуляторного электровоза КА-25. Электронный ресурс: http://www.zumk.ru/products/new/details_140.html
3. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки: ВНТП 13-2-93. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Черепанов Владимир Александрович — младший научный сотрудник, аспирант, Институт горного дела УрО РАН, e-mail: vladandmir@list.ru.



ГОРНАЯ КНИГА-2012



Уголь мира. Том II. Уголь Америки

Б.М. Воробьев
Год: 2012
Страниц: 486
ISBN: 978-5-98672-171-2
UDK: 622.33

Описаны состояние и перспективы развития угольной промышленности стран Северной и Южной Америки. Освещены технические, экономические, экологические и социальные проблемы угледобычи и углепользования. Уделено внимание ресурсной базе угольной промышленности, охране окружающей среды в связи с добычей и использованием угля, а также международной торговле углем. Представлены новые концепции углеэнергетических предприятий будущего на базе чистых угольных технологий.