

УДК 622.6

Черепанов Владимир Александрович

научный сотрудник,
начальник лаборатории
неразрушающего контроля,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, Россия, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: transport@igduran.ru

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОПОЕЗДОВ НА ГОРНЫХ РАБОТАХ*

Аннотация:

В ближайшей перспективе можно выделить следующие основные направления при освоении месторождений открытым способом: 1) отсутствие большого количества вновь строящихся крупных карьеров; 2) возмещение выбывающих мощностей по добыче полезных ископаемых за счет доработки прибортовых и подкарьерных запасов, развития комбинированной открыто-подземной разработки месторождений, разработки относительно небольших месторождений в районах, удаленных от развитой инфраструктуры; 3) доработка существующих карьеров до максимальной глубины с применением современных технологий и подходов. На основании анализа развития автомобильного транспорта и особенностей ведения горных работ определено, что одним из вариантов снижения затрат при разработке месторождений является применение автопоездов на горных работах. В статье выделены и рассмотрены следующие области применения автопоездов (различной конструкции) при разработке месторождений: магистральный транспорт, внутрикарьерный транспорт, доставка горной массы при комбинированной или подземной разработке месторождений. Показано, что автопоезда нашли свою нишу для применения на горных предприятиях, но их использование на дорогах общего пользования возможно при соблюдении действующих требований, установленных в различных странах, к максимальной длине транспортных средств и допустимым осевым нагрузкам либо при строительстве специальных межплощадочных (технологических) дорог. Современные карьерные автопоезда имеют грузоподъемность от 95 до 180 – 220 т и более при обеспечении низких эксплуатационных затрат и высокой надежности, а также при их использовании на длительных расстояниях от 10 – 50 до 170 км и более. При использовании автопоездов в качестве внутрикарьерного или подземного транспорта наиболее эффективно применять специальные конструкции, отличные от автопоездов для магистральных перевозок по поверхности. Например, для комбинированной открыто-подземной или подземной разработки месторождений ИГД УрО РАН предлагается рассматривать вариант применения высокопроизводительных автопоездов с небольшими размерами в поперечном сечении.

Ключевые слова: автопоезд, карьерный автосамосвал, горные работы, магистральные перевозки, транспорт при разработке месторождений.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.073

Cherepanov Vladimir A.

Research Worker,
Head of the nondestructive testing laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: transport@igduran.ru

ON THE ISSUE OF APPLICATION OF ROAD-TRAINS IN MINING

Abstract:

In the near future, the following main directions in the development of deposits by the open cut method can be distinguished: 1) the absence of a large number of newly built large open pits; 2) refurbishment of retired mining capacities by: reworking the near and under-pit reserves; development of combined open-underground mining of deposits; development of relatively small deposits in areas remote from developed infrastructure; 3) reworking of existing open pits to the maximum depth using modern technologies and approaches. Based on the analysis of the features of mining operations, as well as the current stage of development of road transport, it has been established that one of the options for reducing costs in the development of deposits is the use of road trains in mining operations. The article highlights and considers the following areas of application of road trains (of various designs) in the development of deposits: 1. Mainline transport; 2. Intra-quarry transport; 3. Delivery of rock mass in combined or underground mining. The paper shows that road trains have found their niche for use in mining enterprises, but their use on public roads is possible in case of matching the current requirements established in various countries for the maximum length of vehicles and permissible axle loads, or in case of constructing the special technological roads. Modern road trains have a carrying capacity of 95 up to 180-220 tons and more, while ensuring low operating costs and high reliability, as well as when using them over long distances of 10-50 km to 170 km or more. When using road trains as intra-quarry or underground transport, it is most effective to use special designs, different from road trains for long-distance transportation on the surface. For example, for a combined open-underground or underground development of deposits, we propose to consider a variant of the use of high-capacity road trains with small cross-sectional dimensions, developed by the Institute of Mining of the Ural Branch of RAS.

Key words: road train, mining dump truck, mining, long-haul transportation, transport in the development of deposits.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-0293-18-00, тема № 0405-2019-0005

Введение

В современных условиях, в связи с возрастающими требованиями к технологии ведения горных работ и к горнодобывающей технике, в проектах отработки месторождений изыскиваются пути по увеличению объемов добычи полезных ископаемых, снижению объемов горно-капитальных работ, продлению сроков службы карьеров, снижению затрат на всех этапах горного производства. В настоящее время и в ближайшей перспективе можно выделить следующие основные особенности при освоении месторождений открытым способом: 1) отсутствие большого количества вновь строящихся крупных карьеров; 2) возмещение выбывающих мощностей по добыче полезных ископаемых может быть связано с доработкой прибортовых и подкарьерных запасов, развитием области применения комбинированной открыто-подземной разработки месторождений либо с разработкой относительно небольших месторождений в районах, удаленных от развитой инфраструктуры; 3) доработка существующих карьеров до максимальной глубины с применением современных технологий и подходов.

Значительная доля затрат в сложившихся современных условиях приходится на транспортирование горной массы, особенно на автомобильный карьерный транспорт и может достигать 50 – 60 % от общих расходов в крупных карьерах [1–2], а в некоторых случаях до 70 % от общих затрат на добычу полезного ископаемого [3]. Среди основных направлений, связанных с изменениями условий эксплуатации и параметров карьерного автомобильного транспорта в ближайшей перспективе можно выделить следующие [4 – 5]: 1) дальнейшее увеличение высоты подъема горной массы из-за повышения глубины карьеров; 2) увеличение количества карьеров с применением автомобильного транспорта ввиду его большей мобильности и более быстрого ввода в эксплуатацию; 3) повышение преодолеваемого продольного уклона автотранспортом; 4) рассмотрение возможности применения электрифицированных видов мобильного транспорта; 5) применение автомобильного транспорта в качестве магистрального при перевозке горной массы по поверхности при значительных расстояниях транспортирования; 6) увеличение производительности и снижение эксплуатационных затрат на транспортирование не только за счет улучшения технических характеристик машин (увеличение мощности, объема кузова; улучшение экологических характеристик; экономия расхода топлива и др.), но и благодаря технологии их применения (применение комбинированного и специального транспорта, изыскание современных схем вскрытия и разработки новых, а также доработки существующих месторождений и др.).

Одним из вариантов снижения затрат на транспортирование при разработке месторождений в современных условиях является применение автопоездов на горных работах.

Изложение рассматриваемых вопросов

Перспективным направлением развития грузовой автомобильной техники для дорог общего пользования, которым в последние годы активно занимаются ведущие мировые производители, являются автопоезда большой длины и, соответственно, повышенной грузоподъемности. Разработчики и эксплуатирующие организации отмечают их высокую эффективность при перевозке грузов [6]. С 1998 г. Швеция и Финляндия изменили требования к длине и полной массе автопоездов до 25,25 м и 60 т при сохранении требований к осевым нагрузкам. [7]. В отдельных штатах США и Канады разрешена эксплуатация транспортных средств, включающих тягач, полуприцеп и прицеп, а в Австралии, Японии, Бразилии, Новой Зеландии широко используются специализированные седельно-прицепные автопоезда длиной более 30 м только по согласованным с властями маршрутам [8]. Таким образом, использование автопоездов на дорогах общего пользования возможно при соблюдении действующих в конкретной стране требований к максимальной длине транспортных средств и допустимым нагрузкам на каждую ось.

Основные преимущества автопоездов по сравнению с одиночными транспортными средствами [6, 9]:

- более высокая производительность на одно транспортное средство и одного работающего в 1,5 – 2 и более раза;
- более низкая себестоимость перевозок;
- меньший парк;
- меньшие затраты на ремонт и обслуживание (в случае применения полуприцепов и прицепов), ниже амортизационные отчисления на прицепной парк;
- увеличение грузоподъемности автопоезда не связано с превышением допустимых осевых нагрузок на дорогу.

При разработке месторождений для экономии затрат на перевозке горной массы требуется более высокая грузоподъемность автопоездов по сравнению с автопоездами, передвигающимися по дорогам общего пользования. В этом случае возможно применять их на специальных межплощадочных дорогах [10], соединяющих отдельные обособленные производства промышленных предприятий или месторождений открытых горных разработок с обогатительными и сортировочными фабриками. При этом, учитывая большую освоенность месторождений в центральных районах России и СНГ, разработка полезных ископаемых в ближайшей перспективе в нашей стране будет вестись по двум направлениям:

1. Необходимость максимально полной доработки уже эксплуатируемых месторождений.

2. Начало разработки новых месторождений в удаленных, малоосвоенных или неосвоенных территориях.

Для первого направления можно выделить следующие проблемы, связанные с применением карьерного автомобильного транспорта:

- при увеличении грузоподъемности карьерных автосамосвалов необходимо соответствующее уширение транспортных берм [5], в результате чего на ряде карьеров, особенно ограниченных в плане, возникает необходимость использования автосамосвалов малой грузоподъемности в нижней зоне карьера с обустройством перегрузочного пункта и применением большегрузных автосамосвалов для дальнейшей транспортировки горной массы;

- увеличение глубины карьеров либо разработка прибортовых запасов (с традиционной технологией применения автомобильного транспорта) связаны с дополнительным разном бортов, что ведет к дополнительному возрастанию объемов вскрышных работ и в ряде случаев к значительным затратам времени до начала добычи полезного ископаемого из-за реконструкции карьера;

- в определенных условиях возникает необходимость применения открыто-подземной разработки месторождений, при которой возрастает общая длина транспортирования горной массы, может возникнуть необходимость в дополнительных перегрузочных пунктах, для снижения затрат могут применяться различные технологические схемы транспорта и подземных транспортных выработок.

Для второго направления разработки месторождений характерны следующие особенности:

- новые месторождения не имеют необходимой развитой инфраструктуры, а создавать горно-обогатительные комбинаты в таких районах целесообразно только в случае существенных запасов полезных ископаемых. Вовлекается в разработку большое количество относительно небольших по запасам либо бедных по содержанию месторождений, от которых необходимо транспортировать полезные ископаемые на значительные расстояния (50 – 250 км) до существующих обогатительных фабрик;

- многие новые месторождения характеризуются суровым климатом, сложным рельефом местности, нехваткой специалистов;

- существенная часть новых разведанных месторождений находится на территориях со слабонесущими грунтами и вечной мерзлотой (например, территория Полярного Урала, Кольский полуостров, Западная Якутия и т.д.);

- вопросы транспортирования полезного ископаемого при освоении новых труднодоступных территорий могут являться ключевыми как на этапе проектирования и начала ведения горных работ, так и на стадии принятия решения о целесообразности разработки месторождения [11].

На основании проведенного анализа современного состояния горных работ, а также учитывая особенности развития автомобильного карьерного транспорта, выделим следующие области применения автопоездов различных конструкций для применения их при разработке месторождений:

1. Магистральный транспорт.
2. Внутрикарьерный транспорт.
3. Доставка горной массы при комбинированной или подземной разработке месторождений.

Применение автопоездов на горных работах в качестве магистрального транспорта

Автопоезда на сегодняшний день активно применяются на горных работах по всему миру (в основном в Австралии, а также в Индонезии, Африке, США, Канаде, Европе) в основном для магистральных перевозок на значительные расстояния (от десятков до нескольких сотен километров) и начинают применяться в России как на дорогах общего пользования, так и на специальных технологических трассах [9, 12–14].

Например, в Австралии автопоезда Powertrans (рис. 1) могут достигать грузоподъемности 300 – 500 метрических тонн для транспортирования руды на расстояние 10 – 50 км и более, позволяют снизить капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с карьерными большегрузными автосамосвалами, а также являются альтернативой для железнодорожного и конвейерного транспорта [15 – 16]. Автопоезд Scania с колесной формулой 10×8 на базе тягача R 730 V8 (рис. 2) обладает грузоподъемностью до 220 т и эксплуатируется при круглосуточной доставке железной руды из различных рудников в терминал Порт-Хедленда (Западная Австралия). Расстояние от рудников до пункта назначения в одну сторону составляет до 450 км [17]. В Индонезии полная масса автопоезда Scania достигает 180 т [18] при длине 35 – 36 м и плече перевозки 150 км (75 км с грузом, 75 км без груза) по дорогам с частично холмистым рельефом (максимальный уклон 6 %). Средний годовой пробег составляет 200000 км. Автопоезд DPRT канадской фирмы K-Line Trailers (рис. 3), работающий в Северной Америке при преодолеваемом уклоне до 10 % имеет грузоподъемность 216 метрических тонн [19], а максимальная грузоподъемность автопоездов этой компании может достигать до 400 т (количество прицепов от 2-х до 6-ти).



Рис. 1. Автопоезд компании Powertrans в Австралии [16]



Рис. 2. Автопоезд компании Scania в Австралии [17]



Рис. 3. Автопоезд K-Line's Dual Powered Road Trucks (Канада) [19]

Расширение минерально-сырьевой базы компании «Алроса» невозможно без вовлечения в отработку новых месторождений. Зачастую эти месторождения представлены небольшими либо довольно бедными кимберлитовыми трубками, расположенными удаленно от центров с развитой инфраструктурой, а строительство обогатительных фабрик там, как правило, нецелесообразно [11].

Исследования ИГД УрО РАН показывают, что для магистральных перевозок руды на значительные расстояния – более 10 – 15 км при относительно небольших объемах (5 – 10 млн т/год) – наиболее экономичным транспортом могут быть автопоезда на базе самосвалов общего назначения [4, 11]. Одним из результатов подобных работ (совместных исследований ИГД УрО РАН и АК «Алроса») являются рекомендации по применению автопоездов для доставки руды от беднотоварных месторождений АК «Алроса» до обогатительных фабрик на значительные расстояния (до 150 – 200 км), в последующем принятые к реализации на практике [4, 11]. В результате проведенного анализа (в работе [11]) для сравнения были отобраны следующие виды магистрального транспорта: карьерные автосамосвалы, троллейбусы и дизель-троллейбусы, автосамосвалы общего назначения и автопоезда, конвейерный транспорт, грузовая подвесная канатная дорога, железнодорожный транспорт узкой и нормальной колеи, болотоходы (вездеходы). Обоснование областей применения различных видов магистрального транспорта происходило на основании сложившихся условий: годовой объем перевозок от 0,2 до 5 млн т/год; дальность транспортирования от 10 до 200 км. По результатам расчетов по технико-экономическим показателям установлено, что практически во всем диапазоне условий предпочтительно применение грузового подвижного состава общего назначения (автопоезда, в том числе многозвенные, созданные на базе стандартных тягачей и специализированных полуприцепов и прицепов большой суммарной грузоподъемности до 100 – 150 т). Они характеризуются наименьшими эксплуатационными, а также капитальными затратами на автодороги, мосты и приобретение машин (в суровых климатических условиях Якутии). Кроме этого, при их применении обеспе-

чивается высокая мобильность, надежность транспортной системы в целом, а строительство дорог обеспечит возможность круглогодичной доставки грузов и материалов на разрабатываемое месторождение.

В АК «Алроса» с 2012 г. проводились опытно-промышленные испытания автопоездов на базе грузовых автомобилей общего назначения для магистральной перевозки руды по поверхности от промежуточных рудных складов карьеров до обогатительных фабрик. Был организован участок по перевозке руды от карьера «Зарница» Удачинского ГОКа до обогатительной фабрики № 12. При этом применяющиеся автопоезда были существенно доработаны под конструктивные требования к перевозке крупнокусковой абразивной горной массы в суровых климатических условиях [13]. Итоги промышленного эксперимента применения автопоездов Scania и Volvo [25] грузоподъемностью 90 т в ходе доставки руды с трубки «Зарница», а также результаты испытаний в условиях доставки руды с рудника «Интернациональный» на склад «ВГ» и щебня с ДСК карьера «Диабазовый» на ПЗК рудника «Мир» показали значимые преимущества многосезонных автопоездов по таким фактическим показателям [26]: производительность за один рейс, среднетехническая скорость (36 км/ч при транспортировании руды от борта карьера «Зарница» до ОФ № 12 она составила [13]), удельный расход топлива (средний удельный расход топлива за период эксперимента при транспортировании руды от борта карьера «Зарница» до ОФ №12 составил 26,6 г/т·км [13]). Себестоимость транспортирования руды на плече 22 км маршрута «Трубка «Зарница» - ОФ №12» для многосезонных автопоездов в 2 раза ниже [13] в сравнении с карьерными автосамосвалами, применявшимися до этого, при этом удельный расход топлива снизился в 3 раза [22]. Парк автопоездов в АК «Алроса» на 2019 г. достиг 90 единиц [22] (ТОНАР, Volvo, Scania, рис. 4, 5), большая часть которых применяется на транспортировке кимберлитовой руды с Верхне-Мунского месторождения. При грузоподъемности 125 и 95 т они осуществляют 1 рейс в смену (12 ч), т.к. расстояние транспортирования в одну сторону составляет около 170 км по специальной технологической дороге.



Рис. 4. Многосезонный автопоезд ТОНАР-7502 грузоподъемностью 130 т [12]



Рис. 5. Автопоезд Scania на транспортировании руды с Верхне-Мунского месторождения АК «Алроса» [14]

Один из возможных вариантов компоновочной схемы многозвенного автопоезда для горных работ на базе автосамосвалов Минского завода колесных тягачей приведен на рис. 6. Автопоезд состоит из соединенных и работающих совместно активных звеньев (автономных самосвальных транспортных средств) с наличием кабины на первом и последнем звене. В состав автопоезда могут входить от 2 до 5 звеньев, достигая общей максимальной длины около 56 м и грузоподъемности 100 т (полная масса автопоезда – 194 т) для перевозки груза до 50 м³. Применение автономных активных звеньев позволит обеспечить оптимальное значение удельной мощности вне зависимости от их количества [11, 23]. За счет использования освоенных в производстве серийных узлов возможно в короткие сроки изготовить и испытать такой многозвенный автопоезд для горных работ [11, 23], учитывая имеющийся у Объединенного института машиностроения НАН Беларуси опыт создания экспериментальных образцов современных магистральных автопоездов для дорог общего пользования [27].

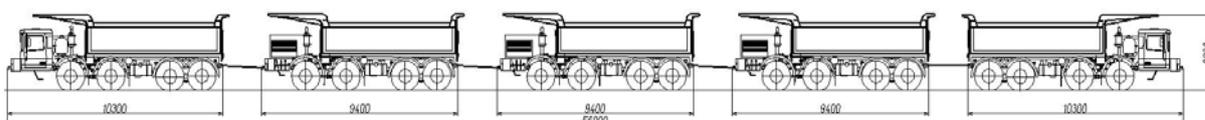


Рис. 6. Многозвенный самосвальный автопоезд для горных работ (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск) [23]

Область применения автопоездов в качестве магистрального транспорта для перевозки горной массы на горных предприятиях приведена в табл. 1.

Таблица 1

Область применения автопоездов в качестве магистрального транспорта для перевозки горной массы на горных предприятиях

Область применения	Технические и технологические преимущества	Ограничения в применении
<p>Длина транспортирования по поверхности: магистральные перевозки насыпных грузов на любые расстояния (от 10 – 50 км до 170 – 450 км). Большая производительность благодаря повышенной грузоподъемности за счет автопоездной компоновки (от 95 до 180 – 220 т, а в некоторых случаях с возможностью увеличения до 400 – 500 т)</p>	<p>Низкие капитальные затраты. Относительно небольшие эксплуатационные расходы. Возможность использовать автодороги общего пользования (при соответствующей нормам длине и допустимой нагрузке на ось). Высокая скорость. Строительство дороги с меньшими затратами, чем для карьерных автосамосвалов (при соответствующем уменьшении ширины дороги). Возможность применения в условиях слабонесущих грунтов (при соблюдении соответствующих допустимых нагрузок на каждую ось).</p>	<p>Меньшие размеры максимальных габаритных кусков по сравнению с карьерными автосамосвалами (из-за меньших размеров кузовов). Относительно увеличенная продолжительность погрузки. Трудности при обгоне (ограничение пропускной способности дорог). Необходимость строительства отдельной технологической дороги при высокой грузоподъемности и длине автопоезда. Ограничения при использовании дорог общего пользования (начинаются с определенной длины и грузоподъемности автопоездов, в зависимости от страны, где они применяются).</p>

Перевод автопоездов на электрическую тягу с возможностью работы от троллейной сети либо с различными накопителями энергии, гибридными или комбинированными энергосиловыми установками может обеспечить дополнительную экономию и улучшение экологических показателей. В настоящее время созданы и испытаны такие образцы автопоездов и грузовиков, используемые для магистральных перевозок промышленных грузов по дорогам общего пользования [20 – 23]. Автопоезда Scania с автономным управлением проходят испытания в режиме эксплуатации в Австралии [24].

Применение автопоездов в качестве внутрикарьерного транспорта

Одиночные автосамосвалы, проектируемые компанией ЕТФ, изначально планировались грузоподъемностью до 240 т (при формировании их в состав автопоезда – до 800 т) [15], а позднее были доработаны до грузоподъемности 180 – 774 метрических тонн (рис.7) [28] с сохранением возможности их объединения в состав автопоездов. Каждый самосвал состоит при этом из быстро заменяемых модулей, что позволяет удобно формировать необходимую комплектацию и быстро осуществлять ремонт, а также имеет ряд других специально разработанных инженерных решений и конструктивных особенностей: несколько независимых двигателей (либо накопителей энергии), сдвоенные шины относительно небольшого диаметра, управляемые поворотные оси, возможность разгрузки каждой единицы автопоезда по отдельности и др. К настоящему времени создан прототип карьерного самосвала ЕТФ.



Рис. 7. Варианты модульных карьерных самосвалов ЕТФ, которые возможно соединять в автопоезд [28]

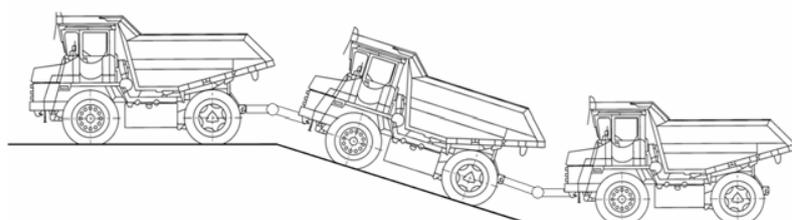


Рис. 8. Автопоезд из сцепки БелАЗов 7540 [29]

Одним из путей увеличения эффективности применения карьерных автосамосвалов может стать реализация идеи использования их в составе карьерного автопоезда, состоящего из отдельных автосамосвалов с возможностью автоматического формирования и расформирования их в состав поезда при помощи автосцепок, что, по выводам авторов в работе [29], может позволить экономить топливо и уменьшить ширину дорог (рис. 8). Эксплуатация подобных автопоездов позволит уменьшить затраты на транспорт, а также в определенных условиях может привести к увеличению глубины отработки карьера и отказу от подземной разработки нижних горизонтов месторождения [30].

Применение автопоездов при комбинированной или подземной разработке месторождений

Австралийская компания Powertrans Pty Ltd изготовила подземный автопоезд The Powertrans Powertruck™ and Powertrailer™ (рис. 9), в котором применяется запатентованная система Powertrailer™, когда в зависимости от условий эксплуатации и требований потребителя к основному тягачу-самосвалу Powertruck (с дизельным двигателем с турбонаддувом) может быть добавлено до двух тяговых прицепов Powertrailer (с таким же дизельным двигателем) либо один тяговый прицеп Powertrailer и один буксируемый прицеп – Tow Trailer, соединяющихся в автопоезд, что позволяет снизить себестоимость перевозки горной массы и повысить производительность транспорта по сравнению с традиционными самосвалами. Грузоподъемность автопоезда изменяется от 55 до 100 метрических тонн (мощность привода – от 640 до 960 кВт). Варианты со-

става автопоезда The Powertrans Powertruck™ and Powertrailer™: 1) Тягач-самосвал Powertruck и тяговый прицеп Powertrailer (55 т); 2) Тягач-самосвал Powertruck, тяговый прицеп Powertrailer и прицеп Tow Trailer (85 т); 3) Тягач-самосвал Powertruck и два тяговых прицепа Powertrailer (100 т) [31]. На 14 % уклоне такой автопоезд может достигать скорости 15 км/ч (по сравнению с 8 км/ч у традиционных самосвалов), а по горизонтали на поверхности двигаться до пункта разгрузки на большие расстояния со скоростью до 50 км/ч. Благодаря шинам небольшого диаметра нет особенных ограничений для движения этого автопоезда по дорогам общего пользования. И на тягаче, и на прицепе используются свои тормозные системы, подвеска, трансмиссия, а на тяговом прицепе Powertrailer установлен такой же дизельный двигатель, как и на ведущем самосвале Powertruck [16, 32].



Рис. 9. Автопоезд T930 The Powertrans Powertruck™ and Powertrailer™ (Австралия) [16]

При обосновании возможности реконструкции подземной транспортной схемы рудника для условий комбинированной разработки месторождений ИГД УрО РАН предлагается автопоезд, аналогом которого может стать шахтный автопоезд АШ-75 [33, 35], ранее разработанный с участием ИГД УрО РАН. Автопоезд имеет низкий профиль и небольшие габаритные размеры, состоит из нескольких вагонов с кабинами управления в начале и конце состава, в отличие от автопоездов, применяющихся на магистральных перевозках или в карьерах, за счет чего он может двигаться без разворота в прямом и обратном направлении и вписываться в подземные транспортные выработки с минимальным сечением. В результате этого экономия затрат на капитальное строительство таких выработок при применении автопоездов достигает 1,5 раз по сравнению с самосвалами грузоподъемностью 20 – 30 т и 2,25 – 2,5 раз по сравнению с самосвалами грузоподъемностью 50 – 80 т. Дополнительная экономия в части эксплуатационных затрат связана с большой производительностью и высокой единичной мощностью автопоездов по сравнению с аналогичным автотранспортом. Кроме этого, при использовании автопоездов возможен быстрый ввод подземного рудника в эксплуатацию за счет опережающего вскрытия из карьерного пространства. При этом автопоезда могут применяться как по вспомогательному наклонному съезду до поверхности, так и с выездом в карьерное пространство (рис.10) без необходимости строительства вертикальных стволов с поверхности (кроме вентиляционных), а также в качестве подземного транспорта только в шахтах (на концентрационном горизонте) [35] (табл. 2).

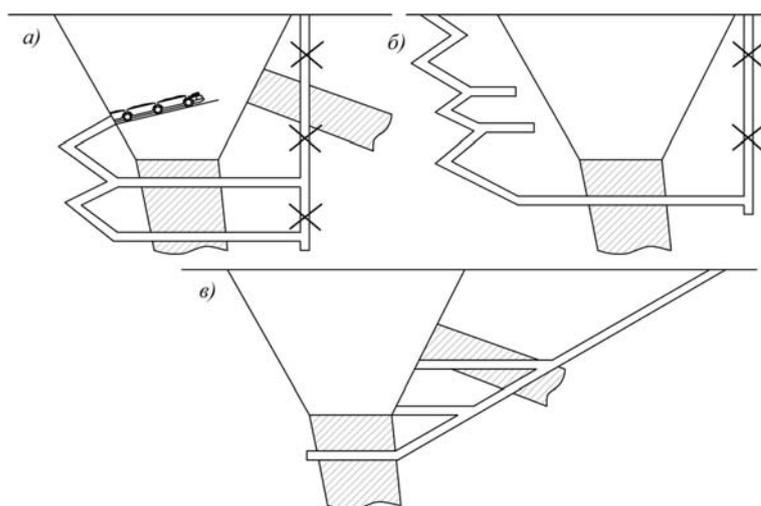


Рис. 10. Принципиальные схемы вскрытия запасов с применением автопоездов без строительства вертикальных скиповых стволов:
 а – с автоуклоном, используя карьерное пространство; б – с автоуклоном до поверхности;
 в – с наклонным стволом до поверхности.

Таблица 2

Варианты применения автопоездов при комбинированной разработке месторождений на основе вариантов вскрытия, приведенных в исследовании [36]

№	Характеристики и особенности разработки месторождения [36]	Место заложения вскрывающих выработок [36]		Варианты применения автопоездов
		Главных	Вентиляционно-вспомогательных	
1	Крупные и средние крутопадающие месторождения. Глубина распространения запасов ниже дна карьера свыше 350 м. Большая длина простираения.	Вертикальный ствол с поверхности.	Вертикальные стволы с поверхности с фланговым расположением.	1. Транспорт на концентрационном горизонте.
2	Крупные глубокозалегающие месторождения. Использование самоходного технологического оборудования.	Вертикальный ствол с поверхности.	Вертикальные стволы с поверхности с фланговым расположением. Наклонный съезд из карьера.	1. Автоуклон используется для ускорения подготовки к выемке прикарьерных запасов и транспорта руды в карьер до ввода в эксплуатацию главного (скипового) ствола. 2. Транспорт на концентрационном горизонте.
3	Малые и средние месторождения. Ценная руда. Глубина распространения подземных запасов ниже дна карьера 150 – 350 м. Использование самоходного технологического оборудования. Основные или локальные участки подземных запасов расположены в бортах карьера. Гористый рельеф местности.	Автотранспортный уклон из карьера. Штольня из карьера. Штольня с поверхности.	Наклонный съезд с поверхности.	1. Транспорт по автотранспортному уклону (штольне) до карьера либо с использованием карьера до поверхности. 2. Транспорт по вспомогательному наклонному съезду до поверхности. 3. Транспорт по штольне до поверхности (при гористом характере местности).
4	Крупные глубокозалегающие месторождения. Использование самоходного технологического оборудования.	Вертикальный ствол с поверхности. Автотранспортный уклон из карьера.	Вертикальный ствол с поверхности.	1. Транспорт по уклону из карьера. 2. Транспорт на концентрационном горизонте.

Предлагаемая автопоездная компоновка накладывает определенные ограничения, связанные с технологическими особенностями применения: для высокопроизводительной работы необходимы стационарные пункты погрузки и разгрузки; при движении в шахте требуется организация разминок или регулирование движения; увеличенные радиусы поворота (до 15 м при грузоподъемности 75 т) потребуют соответствующих подземных выработок, и также должны учитываться при выезде в карьерное пространство (рис. 11). Предлагаемый автопоезд [34] в зависимости от условий эксплуатации может быть выполнен с различными энергосиловыми установками: троллей-автопоезд (ТАП), с дизельным двигателем, с накопителями энергии и др. Идея применения автопоездов (троллей-автопоездов) при комбинированной разработке месторождений заключается в транспортировании руды по крутым автоуклонам (до 10°) с ограниченным сечением для достижения максимальной производительности транспорта и минимальных затрат [35]. Эффективность процесса транспортирования руды на поверхность (либо в карьер) при комбинированной разработке месторождений, основанного на использовании автоуклонов и автопоездов, по сравнению с традиционной технологией вскрытия и разработки запасов может быть достигнута за счет меньших удельных капитальных затрат на проведение наклонных транспортных выработок, уменьшения длины и сечения вскрывающих выработок (по сравнению с традиционными автосамосвалами для подземных горных работ) и возможности поэтапного (поэтажного) ввода подземного рудника в эксплуатацию, а также снижением эксплуатационных затрат на транспортирование.

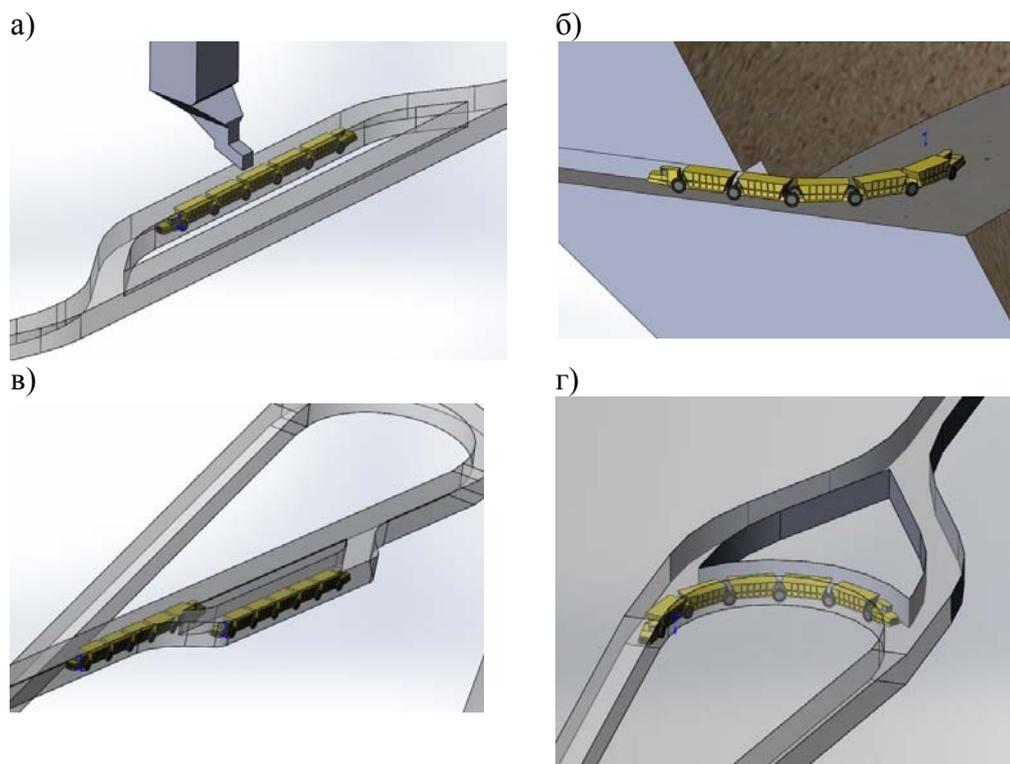


Рис. 11. Возможные схемы движения автопоезда в подземных выработках*:
а) схема погрузки автопоезда;
в) вариант выезда автопоезда в карьерное пространство;
в) схема разминки автопоезда в подземных транспортных выработках;
г) схема разминки автопоезда при подъеме/спуске на новый горизонт.

* Рисунки подготовлены совместно с м.н.с. Чендыревым М.А.

Выводы

1. Исходя из современных условий разработки месторождений выявлены области применения автопоездов различной конструкции на горных работах: а) магистральный транспорт; б) внутрикарьерный транспорт; в) доставка горной массы при комбинированной или подземной разработке месторождений.

2. Использование автопоездов повышенной грузоподъемности на дорогах общего пользования возможно при соблюдении действующих требований, установленных в различных странах, к максимальной длине транспортных средств и допустимым осевым нагрузкам. В случае превышения нормативов возможно применять автопоезда на специальных технологических (межплощадочных) автомобильных дорогах промышленных или горнодобывающих предприятий.

Эффективность применения автопоездов на горных работах в настоящее время подтверждена на практике и зависит от конкретных условий эксплуатации. Современный уровень технического развития этих машин позволяет довести их грузоподъемность до 100 т и более при обеспечении низких эксплуатационных затрат и высокой надежности при их использовании на длительных расстояниях до 100 км и более (для магистральных перевозок горной массы).

3. При использовании автопоездов в качестве внутрикарьерного или подземного транспорта наиболее эффективно применять специальные конструкции, отличающиеся от автопоездов для магистральных перевозок по поверхности в первую очередь габаритными размерами и радиусами поворота, а также учитывающими особенности погрузки и разгрузки составов при встраивании в технологическую цепь карьера или рудника.

4. При комбинированной открыто-подземной или подземной разработке месторождений возможно в перспективе рассматривать вариант применения высокопроизводительных автопоездов с небольшими размерами в поперечном сечении, предлагаемый ИГД УрО РАН. Технологические схемы вскрытия и транспортирования горной массы отличаются от традиционно применяемых относительно небольшим сечением транспортных выработок при сохранении или увеличении производительности транспорта автопоездной компоновки, а также возможностью отказа от скиповых стволов.

Список литературы

1. Rahmanpour M., Osanloo M., Adibee N., Akbarpour Shirazi M., 2014. An Approach to Locate an In Pit Crusher in Open Pit Mines. *International Journal of Engineering (IJE), TRANSACTIONS C: Aspects (September 2014)*, Vol. 27, No. 9, p. 1475 - 1484.

2. Li S.-X., Knights P., 2009. Integration of real options into short term mine planning and production scheduling. *Mining Science and Technology (China)*, Vol. 19, No. 5, P. 674 - 678.

3. Бахтурин Ю.А., 2014. Актуальные вопросы железнодорожного транспорта карьеров. *Проблемы недропользования*, № 3, С. 145 - 153. DOI:10.18454/2313-1586.2014.03.145

4. Яковлев В.Л., Зырянов И.В., Журавлев А.Г. и др., 2018. Особенности современного подхода к выбору технологического транспорта для алмазородных карьеров Якутии. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 6, С. 109 - 120.

5. Журавлев А.Г., 2020. Вопросы оптимизации параметров транспортных систем карьеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 583 - 601. / DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-584-602

6. Гайсёнок И.В., Дюжев А.А., Кочетов С.И. и др., 2014. Применение многосвязных автопоездов в горнодобывающей промышленности. *Горное оборудование и электромеханика*, № 5, С. 14 - 18.

7. Топалиди В.А., 2017. Проблемы внедрения модульных большегрузных автопоездов. *Автомобильная промышленность*, № 11, С. 12 - 14.
8. Журнал «Международные Автомобильные Перевозки». URL: [http://www.mar.asmap.ru/5\(69\)_06/parovoz.htm](http://www.mar.asmap.ru/5(69)_06/parovoz.htm) (дата обращения: 26.06.2020).
9. Тарасов П.И., Зырянов И.В., Тарасов А.П., 2018. *Многозвенные автопоезда на горных работах*. Екатеринбург: Джи Лайм, 264 с.
10. СП 37.13330.2012 *Промышленный транспорт: дата введения 2013-01-01*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095520> (дата обращения: 30.06.2020).
11. Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Черепанов В.А. и др., 2014. Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений. *Горное оборудование и электромеханика*, № 5, С. 25 - 31.
12. Презентация многозвенной машины ТОНАР-7502. URL: <https://www.tonar.info/news-detail/> (дата обращения 26.06.2020).
13. Зырянов И.В., Павлов В.А., Кондратюк А.П. и др., 2014. Опытная промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов SCANIA в Удачинском ГОКе. *Горная промышленность*, № 6 (118), С. 38 – 40.
14. «АЛРОСА» провела пробный прогон автопоезда на Верхнюю Муну. URL: <http://www.alrosa.ru/алроса-провела-пробный-прогон-автопо/> (дата обращения: 26.06.2020).
15. Russell A. Carter, 2012. Taking the Train. *Engineering and mining journal*, – V. 213, №. 6, P. 82 – 86.
16. *Surface Haulage Systems*. URL: <http://www.powertrans.net/2011/index.php/surface-haulage-systems.html> (дата обращения: 26.06.2020).
17. Супер тягач Scania перевезет 220 тонн руды. URL: <http://scanauto.ru/media-center-scania/news-scania/super-tyagach-scania-perevezet-220-tonn-rudy/> (дата обращения: 26.06.2020).
18. Грузовые автомобили и решения Scania для горнодобывающей промышленности. URL: http://scaneland.ru/pdf/gornie_raboti_brosch.pdf (дата обращения: 26.06.2020).
19. *K-Line Trailers Begins Production of Next Set of Dual Powered Road Trains Following Product Launch in 2015*. URL: <http://www.klinetrailers.com/news-and-events/k-line-trailers-begins-production-of-next-set-of-dual-powered-road-trains-following-product-launch-in-2015-i> (дата обращения: 26.06.2020).
20. Черепанов В.А., Журавлев А.Г., Глебов И.А., Чендырев М.А., 2019. Обзор транспорта с электропитанием в фокусе развития горнодобывающих предприятий. *Проблемы недропользования*, № 1, С. 33 – 49. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.033.
21. Корнилов Г.С., Козлов А.В., Теренченко А.С., Коркин С.Н., 2013. Динамические и топливно-экономические показатели магистрального автопоезда с полноприводным тягачом, оснащенный комбинированной энергоустановкой. *Автомобильная промышленность*, № 10, С. 14–16.
22. Зельберг А.С., Зырянов И.В., Бондаренко И.Ф., 2019. Современные и перспективные технологии при разработке месторождений алмазов. *Горная промышленность*, № 3, С. 26 – 31.
23. Гайсенюк И.В., Мариев П.Л., Суша С.А. и др., 2013. Технологические аспекты открытых горных работ в контексте применения многозвенных автопоездов. *Актуальные вопросы машиноведения: Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Т. 2., С. 95 - 98*.
24. Russell A. Carter, 2016. Trucks and shovels: sizing up the situation // *Engineering and mining journal*, V. 217, № 4, P. 28 – 30.
25. Зырянов И.В., Кондратюк А.П., 2015. Опытная промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов SCANIA и VOLVO в АК "АЛРОСА" (ОАО). *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S30, С. 71 - 83.

26. Зырянов И.В., Кондратюк А.П., 2017. Рациональная конфигурация многозвенных автопоездов для транспортировки кимберлитовой породы АК «Алроса». *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S24, С. 229-239.
27. Высоцкий М.С., Кочетов С.И., Харитончик С.В., 2011. *Основы проектирования модульных магистральных автопоездов*. Минск: Беларус. навука, 392 с.
28. ETF Mining Trucks. URL: <http://www.etftrucks.eu/etf-mining-trucks/etf-mining-trucks/> (дата обращения: 26.06.2020).
29. Московка Е.В., Кольга А.Д., 2016. Возможности использования автосамосвалов в составе карьерных автопоездов. *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека»*, Екатеринбург: УГГУ, С. 475 - 478.
30. Кольга А.Д., Московка Е.В., Столповских И.Н., Ахметова М.И., 2016. Возможности использования автосамосвалов в составе карьерных автопоездов на открытых горных работах. *Горный журнал Казахстана*, № 2, С. 25 - 27.
31. John Chadwick, 2008. Moving ore efficiently. *International Mining*, № 6, P. 38 - 46.
32. Яковлев В.Л., Тарасов П.И., Журавлев А.Г., 2011. *Новые специализированные виды транспорта для горных работ*. Екатеринбург: УрО РАН, 375 с.
33. Славиковский О.В., 1990. *Погрузочно-транспортный комплекс рудника*. Москва: Недра, 184 с.
34. Яковлев В.Л., Черепанов В.А., 2014. Предложение по применению транспорта с троллейным питанием на Ново-Учалинском месторождении. *Горное оборудование и электромеханика*, № 5, С. 32 - 36.
35. Черепанов В.А., Глебов И.А., 2020. Факторы, влияющие на схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением наклонных подземных транспортных выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 - 1, С. 351 - 367. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367
36. Соколов И.В., 2012. Обоснование конструкции и параметров подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений Урала: дис. ... доктора технических наук: 25.00.22. Екатеринбург, 377 с.

References

1. Rahmanpour M., Osanloo M., Adibee N., Akbarpour Shirazi M., 2014. An Approach to Locate an In Pit Crusher in Open Pit Mines. *International Journal of Engineering (IJE), TRANSACTIONS C: Aspects (September 2014)*, Vol. 27, No. 9, p. 1475 - 1484.
2. Li S.-X., Knights P., 2009. Integration of real options into short term mine planning and production scheduling. *Mining Science and Technology (China)*, Vol. 19, No. 5, P. 674 - 678.
3. Bakhturin Yu.A., 2014. *Aktual'nye voprosy zheleznodorozhnogo transporta kar'ero*v [Current issues of railway transport in open pits]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3, P. 145 - 153. DOI: 10.18454/2313-1586.2014. 03.145
4. Yakovlev V.L., Zyryanov I.V., Zhuravlev A.G. i dr., 2018. *Osobennosti sovremennogo podkhoda k vyboru tekhnologicheskogo transporta dlya almazorudnykh kar'ero*v Yakutii [Features of modern approach to selection of technological transport for diamond-ore open-pits in Yakutia]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 6, P. 109 - 120.
5. Zhuravlev A.G., 2020. *Voprosy optimizatsii parametrov transportnykh sistem kar'ero*v [Issues of parameters optimization for transport systems of open pits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 - 1, P. 583 - 601. / DOI: 10.25018/ 0236-1493-2020-31-0-584-602
6. Gaisenk I.V., Dyuzhev A.A., Kochetov S.I. i dr., 2014. *Primenenie mnogozvennykh avtopoezdov v gornodobyvayushchei promyshlennosti* [Application of multi-link road-trains in mining industry]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, № 5, P. 14 - 18.

7. Topalidi V.A., 2017. *Problemy vnedreniya modul'nykh bol'shegruznykh avtopoezdov* [Problems of implantation of modular heavy-duty road trains]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, № 11, P. 12 - 14.
8. *Zhurnal "Mezhdunarodnye Avtomobil'nye Perevozki"* [Journal "International Road Transporting"]. URL: [http://www.map.asmap.ru/5\(69\)_06/parovoz.htm](http://www.map.asmap.ru/5(69)_06/parovoz.htm) (data obrashcheniya: 26.06.2020).
9. Tarasov P.I., Zyryanov I.V., Tarasov A.P., 2018. *Mnogozvennyye avtopoezda na gornykh rabotakh* [Multi-link road trains for mining operations]. Ekaterinburg: Dzhi Laim, 264 p.
10. SP 37.13330.2012 *Promyshlennyyi transport: data vvedeniya 2013-01-01* [Industrial transport: date of introduction 2013-01-01]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095520> (data obrashcheniya: 30.06.2020).
11. Tarasov P.I., Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A. i dr., 2014. *Problemy magistral'nogo transportirovaniya rudy ot udalennykh kimberlitovykh mestorozhdenii* [Problems of long-distance transportation of ore from remote kimberlite deposits]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, № 5, P. 25 - 31.
12. *Prezentatsiya mnogozvennoi mashiny TONAR-7502* [Presentation of the multi-link machine TONAR-7502]. URL: <https://www.tonar.info/news-detail/> (data obrashcheniya 26.06.2020).
13. Zyryanov I.V., Pavlov V.A., Kondratyuk A.P. i dr., 2014. *Opytno-promyshlennaya ekspluatatsiya mnogozvennykh avtopoezdov SCANIA v Udachninskom GOKe* [Pilot operation of SCANIA multi-link road-trains in Udachninsky GOK]. *Gornaya promyshlennost'*, № 6 (118), P. 38 – 40.
14. *"ALROSA" provela probnyi progon avtopoezda na Verkhnyuyu Munu* [ALROSA conducted a test run of a road train to Verkhnyaya Muna]. URL: <http://www.alrosa.ru/alrosa-provela-probnyi-progon-avtopo/> (data obrashcheniya: 26.06.2020).
15. Russell A. Carter, 2012. Taking the Train. *Engineering and mining journal*, – V. 213, №. 6, P. 82 – 86.
16. *Surface Haulage Systems*. URL: <http://www.powertrans.net/2011/index.php/surface-haulage-systems.html> (дата обращения: 26.06.2020).
17. *Super tyagach Scania perevezet 220 tonn rudy* [Scania super tractor truck to transport 220 tons of ore]. URL: <http://scanauto.ru/media-center-scania/news-scania/super-tyagach-scania-perevezet-220-tonn-rudy/> (data obrashcheniya: 26.06.2020).
18. *Gruzovye avtomobili i resheniya Scania dlya gornodobyvayushchei promyshlennosti* [Scania trucks and solutions for mining industry]. URL: http://scaneland.ru/pdf/gornie_raboti_brosch.pdf (data obrashcheniya: 26.06.2020).
19. K-Line Trailers Begins Production of Next Set of Dual Powered Road Trains Following Product Launch in 2015. URL: <http://www.klinetrailers.com/news-and-events/k-line-trailers-begins-production-of-next-set-of-dual-powered-road-trains-following-product-launch-in-2015-i> (data obrashcheniya: 26.06.2020).
20. Cherepanov V.A., Zhuravlev A.G., Glebov I.A., Chendyrev M.A., 2019. *Obzor transporta s elektropitaniey v fokuse razvitiya gornodobyvayushchikh predpriyatii* [Overview of power supply transport in the focus of mining enterprises development]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1, P. 33 – 49. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.033.
21. Kornilov G.S., Kozlov A.V., Terenchenko A.S., Korokin S.N., 2013. *Dinamicheskie i toplivno-ekonomicheskie pokazateli magistral'nogo avtopoezda s polnoprivodnym tyagachom, osnashchennym kombinirovannoi energoustanovkoi* [Dynamic and fuel-economic indicators of a main road train with a four-wheel drive tractor equipped with a combined power unit]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, № 10, P. 14–16.
22. Zel'berg A.S., Zyryanov I.V., Bondarenko I.F., 2019. *Sovremennyye i perspektivnyye tekhnologii pri razrabotke mestorozhdenii almazov* [Modern and promising technologies in development of diamond deposits]. *Gornaya promyshlennost'*, № 3, P. 26 – 31.

23. Gaisenok I.V., Mariev P.L., Susha S.A. i dr., 2013. *Tekhnologicheskie aspekty otkrytykh gornykh rabot v kontekste primeneniya mnogozvennykh avtopoezdov* [Technological aspects of open-pit mining in the context of the use of multi-link road trains]. Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: Ob"edinennyi institut mashinostroeniya NAN Belarusi, g. Minsk, V. 2., P. 95 - 98.
24. Russell A. Carter, 2016. Trucks and shovels: sizing up the situation // Engineering and mining journal, V. 217, № 4, P. 28 – 30.
25. Zyryanov I.V., Kondratyuk A.P., 2015. *Opytno-promyshlennaya ekspluatatsiya mnogozvennykh avtopoezdov SCANIA i VOLVO v AK "ALROSA" (OAO)* [Pilot operation of SCANIA and VOLVO multi-link road trains in AK ALROSA (OAO)]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № S30, P. 71 - 83.
26. Zyryanov I.V., Kondratyuk A.P., 2017. *Ratsional'naya konfiguratsiya mnogozvennykh avtopoezdov dlya transportirovki kimberlitovoi porody AK "Alrosa"* [Rational configuration of multi-link road trains for transportation of ALROSA kimberlite rock]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № S24, P. 229-239.
27. Vysotskii M.S., Kochetov S.I., Kharitonchik S.V., 2011. *Osnovy proektirovaniya modul'nykh magistral'nykh avtopoezdov* [Fundamentals of designing the modular long-distance road trains]. Minsk: Belarus. navuka, 392 p.
28. ETF Mining Trucks. URL: <http://www.etftrucks.eu/etf-mining-trucks/etf-mining-trucks/> (data obrashcheniya: 26.06.2020).
29. Moskovka E.V., Kol'ga A.D., 2016. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya avtosamosvalov v sostave kar'ernykh avtopoezdov* [Possibilities of using tipper trucks as part of quarry road trains]. Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i nef-tegazovoi promyshlennosti: sbornik trudov XIV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Chteniya pamyati V.R. Kubacheka", Ekaterinburg: UGGU, P. 475 - 478.
30. Kol'ga A.D., Moskovka E.V., Stolpovskikh I.N., Akhmetova M.I., 2016. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya avtosamosvalov v sostave kar'ernykh avtopoezdov na otkrytykh gornykh rabotakh* [Possibilities of using tipper trucks as part of quarry road trains while open-pit mining operations]. Gornyi zhurnal Kazakhstana, № 2, P. 25 - 27.
31. John Chadwick, 2008. Moving ore efficiently. *International Mining*, № 6, P. 38 - 46.
32. Yakovlev V.L., Tarasov P.I., Zhuravlev A.G., 2011. *Novye spetsializirovannyye vidy transporta dlya gornykh rabot* [New specialized modes of transport for mining operations]. Ekaterinburg: UrO RAN, 375 p.
33. Slavikovskii O.V., 1990. *Pogruzochno-transportnyi kompleks rudnika* [Loading and transport complex of a mine]. Moscow: Publ. Nedra, 184 s.
34. Yakovlev V.L., Cherepanov V.A., 2014. *Predlozhenie po primeneniyu transporta s trolleynym pitaniem na Novo-Uchalinskom mestorozhdenii* [Proposal for the use of trolley-powered transport at Novo-Uchalinsky field]. Gornoe oborudovanie i elektromekhanika, № 5, P. 32 - 36.
35. Cherepanov V.A., Glebov I.A., 2020. *Faktory, vliyayushchie na skhemu vskrytiya glubokikh gorizontov kar'erov s primeneniem naklonnykh podzemnykh transportnykh vyrabotok* [Factors influencing the scheme of penetrating deep horizons of open pits with use of sloping underground transport workings]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 3 - 1, P. 351 - 367. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367.
36. Sokolov I.V., 2012. *Obosnovanie konstruktssii i parametrov podzemnoi geotekhnologii pri kombinirovannoi razrabotke rudnykh mestorozhdenii Urala dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk: 25.00.22* [Justification of design and parameters for underground geotechnology while combined development of ore deposits in the Urals: Dr. tech. sci. diss.: 25.00.22]. Ekaterinburg, 377 p.