

Роботизированные карьерные самосвалы

Марк Леонтьевич ХАЗИН*

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Цель работы – снижение расходов горного предприятия и числа несчастных случаев за счет повышения эффективности использования техники и исключения человеческого фактора.

Методология проведения работы: анализ возможных направлений применения роботизированных карьерных самосвалов и сопутствующих этому процессу проблем.

Результаты. Добыча полезных ископаемых проводится в сложных горнотехнических условиях, что делает присутствие людей в рабочей зоне карьера проблематичным. Горнодобывающие компании стремятся сократить расходы и сделать работу более безопасной, особенно в развитых странах с высокими затратами на рабочую силу. Применение на карьерах самосвалов с дистанционными и автономными системами управления позволяет повысить безопасность и эффективность разработки открытым способом, уменьшить влияние человеческого фактора и повысить производительность горных машин. Несмотря на то, что водители-люди могут хорошо выполнять свою работу, автономные грузовики могут проехать точный маршрут каждый раз, не уставая и не отдыхая. Машине не нужен чистый воздух, хорошая видимость и перерыв на обед. При этом карьерные роботизированные самосвалы могут использоваться в телеуправляемом, полуавтономном и автономном режимах, а водителя в них замещают центральный контроллер и локальная система самоуправления. Робот не устает и не ошибается, он может работать 24 часа в сутки. Устранение ошибок человека и регулярное обучение повышают безопасность и производительность горного предприятия. Ведущее место в производстве роботизированных карьерных самосвалов занимают такие компании, как «БелАЗ», Komatsu и Caterpillar.

Выводы. Внедрение автономных перевозок позволяет горной компании реально снизить свои эксплуатационные расходы. Хотя автономные технологии все еще находятся в зачаточном состоянии, они продолжают развиваться. Большим интересом будут пользоваться комплексные решения – централизованные системы, позволяющие работать с парком автономного транспорта и другим горным оборудованием. Поэтому это направление сегодня является наиболее развивающимся и перспективным, а применение роботизированных самосвалов в горной промышленности – это уже не далекая перспектива, а реальность сегодняшнего дня.

Ключевые слова: открытые горные работы, карьерный самосвал, автономное вождение, робототехника, ситуационная осведомленность, безопасность движения.

Введение

Мировой спрос на минералы растет, а добыча полезных ископаемых ведется во все более сложных горнотехнических условиях: все увеличивающаяся глубина карьера приводит к более крутым бортам карьера, а также к неблагоприятной экологической обстановке [1–3].

В настоящее время и в ближайшем будущем наиболее распространенным методом транспортировки горной массы при открытой добыче является карьерный автомобильный транспорт. Это связано с такими его преимуществами, как мобильность, возможность использования в различных горнотехнологических и климатических условиях и т. д. В то же время этот вид карьерного транспорта является наиболее дорогостоящим [4]. Часто в карьерах работа останавливается из-за пыли, загазованности или задымленности [5]. Все эти факторы делают присутствие людей в зоне добычи полезных ископаемых достаточно проблематичным.

Горнодобывающие компании стремятся сократить расходы и повысить безопасность работ, особенно в

развитых странах с высокими затратами на рабочую силу. Наиболее слабое место карьерного самосвала (оно же и самое сильное) – это его водитель. Использование на карьерах для транспортировки горной массы самосвалов с дистанционными и автономными системами управления позволяет повысить эффективность и безопасность разработки открытым способом, уменьшить влияние человеческого фактора и повысить производительность горных машин и оборудования. Машине не нужен чистый воздух, хорошая видимость и перерыв на обед. Несмотря на то, что водители-люди могут хорошо выполнять свою работу, автономные грузовики, работая 24 часа в сутки, каждый раз могут проехать точный маршрут, не скучая, не уставая, не отдыхая и не ошибаясь. Устранение ошибок человека и регулярное обучение персонала повышают безопасность и производительность горного предприятия [6, 7].

Эксперименты с автономным горным оборудованием начались еще в середине 1990-х гг., но потребовалось

*khasin@ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6081-4474>



Рисунок 1. Роботизированный карьерный самосвал БелАЗ-7513R.
Figure 1. Robotic dump truck BelAZ-7513R.

время, чтобы технологически реализовать эту идею на практике [8]. В настоящее время многие компании-производители горных машин и оборудования занимаются разработками и испытаниями автономных карьерных самосвалов. Ведущее место из них занимают такие компании, как «БелАЗ», Komatsu, Caterpillar и «КамАЗ».

Цель работы – снижение расходов горного предприятия и числа несчастных случаев за счет повышения эффективности использования техники и исключения человеческого фактора.

Методология проведения работы – анализ возможных направлений применения роботизированных карьерных самосвалов и сопутствующих этому процессу проблем.

Результаты работы

«БелАЗ», Белоруссия. ОАО «БелАЗ» в 2010 г. совместно с компанией ОАО «ВИСТ Групп», Россия (производителем системы диспетчеризации АСУ ГТК «Карьер») был разработан дистанционно управляемый карьерный самосвал «БелАЗ» с электроприводом постоянного тока и грузоподъемностью 130 т. Позиционирование самосвала на местности осуществлялось через спутник посредством GPS. Антенны по обе стороны кузова и лидары (устройства дальномера и обнаружения света) по бокам анализировали расстояние до объекта и при необходимости останавливали машину. Оператор-водитель управлял самосвалом из офиса, сидя за пультом [2, 3, 9, 10].

На основе полученного опыта был разработан, а в апреле 2018 г. изготовлен опытный образец роботизированного карьерного самосвала «БелАЗ-7513R» (рис. 1)

грузоподъемностью 136 т. Самосвал «БелАЗ-7513R» сохранил кабину водителя и возможность управления машиной в дистанционном режиме. Основным отличием роботизированного карьерного самосвала «БелАЗ-7513R» от предыдущей модели с дистанционным управлением является возможность передвигаться по заданному маршруту, а также выполнять работы на участке: *погрузка–дорога–разгрузка–повтор*. Кроме того, самосвал способен двигаться «челночным ходом», что позволяет экономить на износе шин и до 12 % сократить время маршрута за счет исключения разворотов.

В настоящее время проводятся ходовые испытания 240-тонного карьерного самосвала «БелАЗ-75319» с новым двигателем, разработанным на Уральском дизель-моторном заводе. По сравнению с двигателями других производителей, уральский 12-цилиндровый двигатель 12ДМ-185 обладает увеличенным моторесурсом, продолжительным сроком работы и высокой топливной экономичностью. Вследствие легкого запуска двигателя и его устойчивой работы самосвал может эксплуатироваться в разных климатических зонах [9, 10].

Движение карьерного самосвала в автономном режиме к месту разгрузки или погрузки обеспечивается системой спутниковой навигации GPS/Глонасс. Вследствие использования радаров, лидаров, ультразвуковых датчиков и оптико-электронной системы, точность позиционирования самосвала составляет до 1 см, что обеспечивает безопасность вождения машины в любое время суток и в различных погодных-климатических условиях. В процессе движения роботизированного самосвала «БелАЗ»

вся необходимая информация о дорожной обстановке и состоянии систем управления поступает к оператору по беспроводной связи. Опытный оператор, находясь в офисе, может успешно управлять в непрерывном технологическом цикле четырьмя-пятью роботизированными карьерными самосвалами [2, 3, 9, 10].

Caterpillar, США. Корпорация Caterpillar выпустила свои первые шесть карьерных автономных самосвалов (рис. 2) в 2013 г., и с тех пор парк роботизированных машин вырос до 150. Для ориентации при перемещении по площадке каждый автономный карьерный самосвал использует радар и лидар, которые совместно с системой GPS создают общую картину местоположения, скорости и возможных препятствий. Эта информация поступает в централизованный компьютер в центре управления горным предприятием, который заменяет работу водителя. Вследствие этого маршруты от экскаватора до мест разгрузки чрезвычайно точны, и самосвалы снова и снова едут по одним и тем же путям. Бортовая инерциальная навигационная система действует как резервная копия, отправляя предупреждение при возникновении несоответствия между технологиями навигации.

Если легкое транспортное средство приближается к автономному грузовику, система рассчитывает, попадет ли оно на путь грузовика, и тогда замедляет его, чтобы избежать столкновения. Система достаточно чувствительна, чтобы обнаружить человека или животное на пути грузовика [7], что часто случается на участках добычи в западной Австралии.

Komatsu, Япония. Корпорация Komatsu начала испытания автономных транспортных систем (Autonomous Haulage System – AHS) на медном руднике Codelco (Чили) в 2005 г., а три года спустя развернула свою первую коммерческую AHS. Каждый из автономных самосвалов Komatsu оснащен контроллерами транспортных средств, высокоточной системой GPS, системой обнаружения препятствий и системой беспроводной сети. Система AHS позволяет повысить ритмичность работы, сохранить равномерную скорость машины и минимизировать простой [7, 11].

Еще одна новинка, представленная на выставке в США в 2016 г., – автономный карьерный самосвал Komatsu IAHV, который можно купить только совместно с системой управления AHS. Основные отличия модели – полный привод, все управляемые колеса. Кроме того, имеется возможность движения челночным ходом с одинаковой скоростью, что позволяет уменьшить число разворотов, сэкономить время на постановку под разгрузку и погрузку и место в призабойной зоне и зоне разгрузки. Отсутствие кабины (рис. 2) дало возможность максимально использовать для кузова всю 15-метровую длину. Расположение в базе двигателя позволило обеспечить минимальные дорожные свесы и перенести центр массы к средней части машины. Такое конструктивное решение уравнило коэффициент сцепления всех колес с дорогой как в порожнем, так и в груженом состоянии.

В этой модели использованы обычные общедоступные компоненты. Дизельный двигатель Cummins QSK60 (как и в автономных моделях самосвалов 860E и 930E) развивает мощность 2700 л. с. В трансмиссии применены

четыре электромотора General Electric 150 AC, генератор GE 240 AC (GE GTA-41), модифицированные бортовые редукторы от 860E-1K, динамический тормоз от 830E. Все колеса имеют отдельное управление как по вращению, так и по повороту. Это позволило, при 8,5-метровой ширине машины уменьшить радиус поворота до 15,9 м. На спусках контроль тяги дополнительно обеспечивает ретардер. Машина оснащена стандартным набором сенсоров, которые используются на всех автономных самосвалах Komatsu. Система слежения за дорогой автономного самосвала Komatsu IAHV позволяет сканировать ближайшее пространство с частотой 100 Гц, что вполне достаточно для технологических дорог при максимальной скорости 64 км/ч [11].

В связи с тем, что современные горные предприятия имеют широкий спектр как старых, так и новых самосвалов, AHS способна обеспечить совместимость как между пилотируемыми, так и автономными грузовиками. Эта функциональная совместимость обеспечивается двумя компонентами системы: FrontRunner, которая управляет работой машины, и Dispatch, которая занимается управлением автопарком, отслеживанием местоположения и оптимизацией производства.

Согласно данным Komatsu, применение автономных самосвалов AHS уменьшает количество водителей, работающих в неблагоприятных и удаленных условиях, повышает безопасность на карьерах, снижает эксплуатационные расходы, повышает производительность и эффективность, а также снижает расход топлива и вредные выбросы [11].

Volvo, Швеция. Компания Volvo Construction Equipment в 2018 г. начала испытывать автономные электрические самосвалы-троллейбусы HX2 на территории карьера «Викан-Кросс» в окрестностях Гетеборга (Швеция) в рамках проекта Electric Site – полностью автономный процесс разработки карьера (добыча, первичное дробление и перевозка).

Inner Mongolia North Heavy Industries Group Co., Ltd., Китай. В начале 2019 г. Китай представил свой автономный карьерный самосвал грузоподъемностью 110 т, рассчитанный на круглосуточную работу. Погрузка и разгрузка самосвала также осуществляются автономно. Карьерный самосвал оснащен модулем GPS, лазерными сенсорами расстояний и поддержки работы с сетью 5G. Первые самосвалы запустят в эксплуатацию в конце 2019 г. По словам разработчиков, 7 «беспилотников» демонстрируют ту же эффективность, что и 9 самосвалов, управляемых людьми. При этом экономия топлива составляет 6 %, а производительность повышается на 49 %. Тестирование своих решений компания Inner Mongolia North Heavy Industries Group Co., Ltd. провела в Объединенных Арабских Эмиратах.

«КамаЗ», Россия. Компании VIST Robotics (дочерняя компания «ВИСТ Групп»), Cognitive technologies и ОАО «КамаЗ» в 2018 году разработали роботизированный тягач «КамаЗ 5350», а в настоящее время разрабатывают беспилотный «КамаЗ» на базе тягача Neo 5490. При этом предполагается разработка трех уникальных технологий:

– система SmartPilot, подразумевает создание «помощников» для водителя, которые будут способны

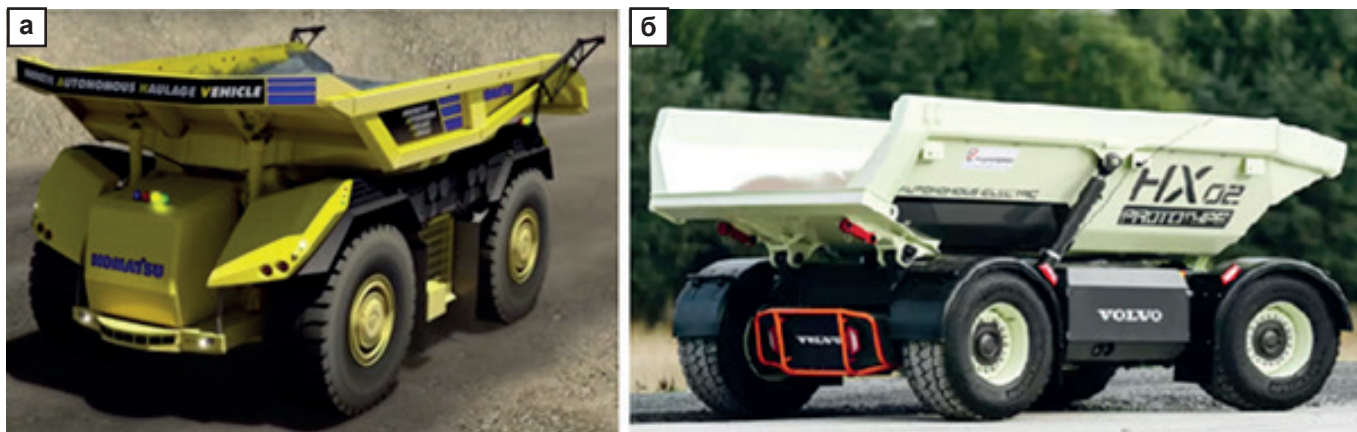


Рисунок 2. Роботизированные самосвалы. а – Komatsu и б – Volvo.
Figure 2. Robotic dump trucks. a – Komatsu; b – Volvo.

помочь водителю в опасной ситуации затормозить, а также осуществлять адаптивный круиз-контроль;

- система AirPilot для дистанционного управления грузовыми автомобилями;

- система RoboPilot, будет обеспечивать движение грузовика без участия водителя в режиме «автопилот». Беспилотные грузовики «КамАЗ» будут оснащены лидарами, радары, джойстиковым управлением, бортовыми компьютерами, видекамерами и системами связи.

Планируется, что на трассы российский «беспилотник» выйдет к 2025–2027 гг. после завершения всех испытаний и доработок систем.

Применение беспилотных самосвалов в горном деле – это уже не далекая перспектива, а реальность сегодняшнего дня. Например, горнопромышленный холдинг ОАО «СУЭК» (Россия) направил два закупленных робота-самосвала «БелАЗ» на разрез Абаканский в Хакасии. Кроме того, автопилот VIST Robotics можно адаптировать и к другой технике, например, к тягачам, бульдозерам и погрузчикам. В 2020-2021 гг. компания «ВИСТ Групп» планирует продавать технологию «Интеллектуальный карьер» во Вьетнам, Индонезию, Индию и Чили.

В настоящее время Komatsu использует более 130 роботизированных самосвалов AHS, перевозящих разные грузы на шести горных предприятиях в Австралии, Северной и Южной Америке. К 2018 г. роботизированные самосвалы AHS компании Komatsu перевезли более 2 млрд т горной массы и руды.

С 2013 г. фирма Caterpillar поставила на рудники австралийской компании Fortescue Metals 56 автономных самосвалов Cat 793F, а в сентябре 2017 г. получила заказ на модификацию в беспилотные еще 100 карьерных самосвалов. За 4,5 года работы беспилотные самосвалы Caterpillar показали на 20 % большую эффективность эксплуатации по сравнению с традиционными машинами, поскольку эти машины не простаивали и работали в среднем на 2,5 часа больше, чем управляемые водителями-людьми [12]. На март 2019 г. в серию роботизированных самосвалов входят Cat 789D, Cat 793F и Cat 797F грузоподъемностью 181, 227 и 363 т соответственно. Эти автономные самосвалы предоставляют постоянную телеметрию, включая отчеты, необходимые для принятия решений о необходимости

техобслуживания, самостоятельно реагируют на вызовы, поступающие от экскаватора, и перевозят породу к месту разгрузки. В ноябре 2018 г. компания Caterpillar сообщила, что ее карьерные самосвалы, оснащенные системой Cat Command, перевезли 1 млрд т горной массы.

Автономные самосвалы Volvo FH (в количестве 6 машин) транспортируют известняк из карьера норвежской горнодобывающей компании Brønnøy Kalk AS на участке длиной 5 км, включающем тоннели в близлежащий порт. В течение 2018 г. проходила тестовая эксплуатация этого проекта, а в конце 2019 г. он должен перейти в режим коммерческой эксплуатации.

В 2015 г. роботизированный автопарк Британской горно-металлургической корпорации Rio Tinto на железорудном руднике Западной Австралии составлял 69 самосвалов, которые к 2018 г. перевезли 1 млрд т руды. В среднем каждый автономный самосвал на руднике Rio Tinto работал на 700 ч больше, чем управляемый человеком самосвал. На его погрузку-разгрузку было затрачено на 15 % меньше средств. За все время эксплуатации роботизированных самосвалов не было зафиксировано ни одной травмы. По итогам трехлетней эксплуатации компания приняла решение об ускорении автоматизации: до конца 2019 г. планируется увеличить количество роботизированных самосвалов компании с 80 (конец 2018 г.) до 140 машин до конца 2019 г. [7, 13].

Бразильская металлургическая и горнодобывающая компания Vale планирует уже в конце 2019 г. перевести свой рудник Brucatu исключительно на использование автономных самосвалов. За прошедшие шесть лет исследований и испытаний здесь эксплуатировались 7 автономных самосвалов для транспортировки железной руды с места добычи на обоганительную фабрику, а также 6 самосвалов, управляемых водителями.

Достоинства и прогнозы

Рост себестоимости добычи полезных ископаемых, в том числе за счет роста заработной платы, уменьшает сроки окупаемости автоматизации процессов добычи и транспортировки. Это стимулирует горнодобывающие компании все активнее внедрять самоуправляемую технику. Дополнительные стимулы – это повышение эффективности использования техники за счет отказа от

использования человеческого труда в процессе добычи и транспортировки и снижение числа несчастных случаев.

Роботизированные самосвалы предлагают горнодобывающим компаниям ряд явных преимуществ. Автономные транспортные средства могут работать с большей точностью, им неведомы такие нюансы, как плохая видимость или усталость водителя, они могут работать круглосуточно и исключают влияние человеческого фактора. Автономные самосвалы могут повторять траектории движения во время рабочих циклов с точностью до нескольких сантиметров, что позволяет экономить на ширине проезжей части, повышении угла подъема, на площадке для разворота и на многом другом [12, 14–16]. Интеллектуальные системы способны заменить водителя на серпантинах горных разработок в трудных ситуациях, особенно после дождя и снега [2, 6, 7, 17].

Как показала практика, автономные грузовые перевозки могут повысить производительность на 15–20 %, уменьшить расход топлива на 10–15 %, снизить уровень износа шин на 5–15 %, сократить расходы на техническое обслуживание примерно на 8 % и повысить коэффициент использования автомобилей на 10–20 % с лучшей практикой вождения [7, 9, 11, 16].

Проблемы

Достижения в области технологий автоматизации предоставили горнопромышленным компаниям много новых возможностей по повышению безопасности и производительности труда, но это также создало некоторые новые проблемы.

1. Обучение персонала. В то время как автономные технологии продолжают развиваться, управляемые человеком машины работают и будут продолжать работать наряду с автономными транспортными средствами. Транспортные средства без водителя работают по четким логическим правилам, которые могут быть неочевидны для людей. Плохое понимание того, как использовать автономные системы и (или) взаимодействовать с автономными грузовиками, может создавать проблемы безопасности и снижать эффективность работы в целом, влияя на прибыль. Автономные перевозки требуют новых навыков и разных способов работы по сравнению с пилотируемыми операциями. Чтобы эффективно подготовить сотрудников к работе с автономной техникой, необходимо:

- обучить персонал безопасному взаимодействию с автономным оборудованием;
- эффективно обучить большое количество персонала за короткий период времени;
- постоянно измерять, оценивать и оптимизировать навыки критически важных ролей оператора в автономной среде [18].

2. Другая проблема – это распространенное заблуждение относительно автономных технологий, заключающееся в том, что можно просто заменить человека машиной и ничего не изменится. Технически это гораздо более сложная задача. Сразу возникает много вопросов: например, нужно ли перепроектировать перекрестки; нужно ли иметь одинаковое количество топливных дней; изменятся ли требования к качеству и содержанию дорог и др.?

3. И тогда возникает вопрос: действительно ли внедрение автономной технологии того стоит? Если

горнопромышленная компания действительно хочет получить как можно большую прибыль, то ей следует полностью адаптировать весь горнотехнологический процесс к автоматизации. Существующая тенденция замены транспортных средств с ручным управлением на автоматизированные будет влиять не только на конструкцию машины, рабочую среду и процедуры, но также на ремонт и процедуры технического обслуживания машины [19].

4. Производители автономных технологий тесно сотрудничают с производителями, которые хотят внедрить эти технологии, чтобы найти наилучшее решение для конкретной операции. Но от производителей требуется высокий уровень обязательств, чтобы переосмыслить то, как они работают.

5. Вопросы права. Технология ведения горных работ подчиняется определенным жестким нормативам, которые полностью охватывают специфику перевозки горной массы техникой под управлением водителей. Производителям и потребителям автономных самосвалов, несущим ответственность за безопасность рабочего места и безопасность своих работников, пока неясно, каковы должны быть юридические требования и нормы для эксплуатации новой техники. На данный момент пробелы в законодательстве не позволяют эксплуатировать беспилотную технику в определенных условиях, например, при пересечении технологических трасс с дорогами общего пользования управление над роботом-самосвалом берет на себя оператор.

Смена парадигмы

Применение в горной промышленности автономной техники – это действительно смена парадигмы в том, как строить дальнейшую работу. По сути, для успешного развертывания технологий автоматизации требуется значительный уровень зрелости. Без этого уровня зрелости, приверженности или понимания задач успешное внедрение автономной системы становится более проблематичным. Следовательно, производительность, прибыльность и безопасность предприятия могут быть подвержены негативным последствиям.

Решение заключается в создании контролируемой среды, т. е. объединения как человеческого планирования, так и комплексной интеграции программного и аппаратного обеспечения по всему карьеру. Происходит своего рода сдвиг парадигмы, через который люди должны пройти. Горняки признали, что технология работает, и уровень запросов стал намного выше, чем раньше. Теперь автономные технологии стали частью процесса покупки не только у крупных горнодобывающих компаний, но и у более мелких [18, 20].

Выводы

Большинство горнодобывающих компаний понимают, что для того, чтобы оставаться конкурентоспособными на рынке, им необходимо найти способ реально снизить свои эксплуатационные расходы. Поэтому крупные горнодобывающие корпорации все активнее внедряют автономные самосвалы, что повышает эффективность и безопасность транспортирования больших объемов горной массы. Для определения скорости, направления движения и местоположения других транспортных средств система управления использует спутниковую навигацию

GPS. При этом карьерные роботизированные самосвалы могут использоваться в телеуправляемом, полуавтономном и автономном режимах, а водителя в них замещают центральный контроллер и локальная система самоуправления.

Внедрение автономных перевозок означает для компании прямой рост производительности, поскольку эффективно и безопасно может быть перемещено больше материала, уменьшаются эксплуатационные затраты за счет сокращения времени простоев техники, связанных с человеческим фактором.

Хотя автономные технологии все еще находятся в зачаточном состоянии, они продолжают развиваться, и скоро наступит время, когда горнодобывающим предприятиям больше не потребуется присутствие людей-водителей в транспортных средствах, перевозящих руду, горную массу и другие материалы. Большим интересом будут пользоваться комплексные решения – централизованные системы, позволяющие работать с парком автономного транспорта и другим горным оборудованием. Поэтому это направление сегодня является наиболее развивающимся и перспективным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубецкой К. Н., Рыльникова М. В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке // ГИАБ. 2015. № 45-1. С. 21–32.
2. Гучек Е. М., Клебанов Д. А. Преимущества и возможности роботизированного карьерного самосвала БелАЗ грузоподъемностью 130 т // Золото и технологии. 2017. № 4 (38). С. 78–81.
3. Клебанов Д. А., Кузнецов И. А., Бигель Н. В. Философия разработки системы дистанционного и автономного управления шахтным самосвалом // Горная промышленность. 2013. № 4. С. 8–15.
4. Burmistrov K. V., Osintsev N. A., Shakshakpaev A. N. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 1696–1702. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.700>
5. Хазин М. Л., Тарасов П. И., Фурзиков В. В., Тарасов А. П. Эколого-экономическая оценка использования карьерных самосвалов // Изв. вузов. Горный журнал. 2018. № 7. С. 85–94. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-7-85-94>
6. Brundrett S., Eng P. Industry Analysis of Autonomous Mine Haul Truck Commercialization. Simon Fraser University, 2014. http://summit.sfu.ca/system/files/iritems1/14425/SBrundrett_Capstone.pdf
7. Walker S. Autonomy gradually gains momentum // Engineering and Mining Journal. 2014. Vol. 215, № 1. P. 32–37.
8. Enzweiler M. The mobile revolution – machine intelligence for autonomous vehicles // It-Information Technology. 2015. Vol. 57, № 3. P. 199–202. <https://doi.org/10.1515/itit-2015-0009>
9. Бигель Н. В. Преимущества и возможности роботизированного карьерного самосвала грузоподъемностью 130 тонн // ГИАБ. 2017. № S38. С. 53–57. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-53-57>
10. Егоров А. Н. Роботизированный карьерный самосвал БелАЗ грузоподъемностью 136 тонн // Автомобильная промышленность. 2016. № 11. С. 1–4.
11. Uhlemann E. Active safety vehicles evolving toward automated driving [connected vehicles] // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2015. Vol. 10, № 4. P. 20–23. <https://doi.org/10.1109/MVT.2015.2481118>
12. Dadhich S., Bodin U., Andersson U. Key challenges in automation of earth-moving machines // Automation in Construction. 2016. Vol. 68. P. 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.009>
13. Rio Tinto. Rio Tinto improves productivity through the world's largest fleet of owned and operated autonomous trucks. 2014.
14. Gölbasi O., Dagdelen K. Equipment Replacement Analysis of Manual Trucks with Autonomous Truck Technology in Open Pit Mines // Conference Paper (PDF Available), August 2017.
15. Nam D., Lee S., Kim N. Issue-Tree and QFD Analysis of Transportation Safety Policy with Autonomous Vehicle // The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. 2016. Vol. 15. № 4. P. 26–32.
16. Schoettle B., Sivak M. Potential Improvements in Safety and Efficiency with Autonomous Trucking. 2017. No. SWT-2017-19. 32 p. <http://umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2017-19.pdf>
17. Burgard W., Franke U., Enzweiler M., Trivedi M. The mobile revolution – machine intelligence for autonomous vehicles (Dagstuhl Seminar 15462) // Dagstuhl Reports – Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik. 2016. Vol. 5. № 11. <https://doi.org/10.4230/DagRep.5.11.62>
18. Morell J. Self-Driving Mining Trucks // Mechanical Engineering Magazine. 2017.
19. Gustafson A., Schunnesson H., Kumar U. Reliability analysis and comparison between automatic and manual load haul dump machines // Quality and Reliability Engineering International. 2015. Vol. 31. № 3. P. 523–531. <https://doi.org/10.1002/qre.1610>
20. Knights P., Franklin D. Autonomous Surface Mining Equipment: Is Bigger Better? 2017. <https://www.researchgate.net/publication/50805959>

Статья поступила в редакцию 12 мая 2020 года

Autonomous mining dump trucks

Mark Leont'evich KHAZIN*

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Research aim is to reduce the costs of a mining company and the number of accidents by increasing the efficiency of the use of equipment and eliminating the human factor.

Research methodology: analysis of possible areas of application of autonomous mining dump trucks and problems associated with this process.

Results. Mining is carried out in difficult mining conditions, which makes the presence of people in the working area of the quarry problematic. Mining companies are looking to cut costs and make jobs safer, especially in developed countries with high labor costs. The use of dump trucks with remote and autonomous control systems in open pits makes it possible to increase the safety and efficiency of open pit mining, reduce the influence of the human factor and increase the productivity of mining machines. While human drivers can do their job well, autonomous trucks can drive the exact route every time without getting bored, tired or resting. The car does not need clean air, good visibility and a lunch break. At the same time, mining autonomous dump trucks can be used in remote-controlled, semi-autonomous and autonomous modes, and the driver in them is replaced by a central controller and a local self-management system. The robot does not get tired and does not make mistakes, it can work 24 hours a day. Eliminating human error and regular training improves safety and increases the productivity of a mining operation. Such companies as BelAZ, Komatsu and Caterpillar are the leaders in the production of autonomous mining dump trucks.

Conclusions. The introduction of autonomous transportation allows the mining company to actually reduce its operating costs. While autonomous technologies are still in their infancy, they continue to evolve. Complex solutions will be of great interest - centralized systems that allow working with a fleet of autonomous vehicles and other mining equipment. Therefore, this direction today is the most developing and promising, and the use of autonomous dump trucks in the mining industry is no longer a distant prospect, but a reality of today.

Keywords: open pit mining, dump truck, autonomous driving, robotics, situation awareness, traffic safety.

REFERENCES

1. Trubetskoy K. N., Ryl'nikova M. V. 2015, State and prospects for the development of open pit mining in the XXI century. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 45-1, pp. 21–32. (In Russ.)
2. Guček E. M., Klebanov D. A. 2017, Advantages and capabilities of the robotic dump truck BelAZ with a lifting capacity of 130 t. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and technologies], no. 4 (38), pp. 78–81. (In Russ.)
3. Klebanov D. A., Kuznetsov I. A., Bigel N. V. 2013, Philosophy of development of a system for remote and autonomous control of a mine dump truck. *Gornaya promyshlennost'* [Russian Mining Industry], no. 4, pp. 8–15. (In Russ.)
4. Burmistrov K. V., Osintsev N. A., Shakshakpaev A. N. 2017, Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction. *Procedia Engineering*, vol. 206, pp. 1696–1702. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.700>
5. Khazin M.L., Tarasov P.I., Furzikov V.V., Tarasov A.P. 2018, Ecological and economic assessment of the use of quarry dumps. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7, pp. 85–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-7-85-94>
6. Brundrett S., Eng P. 2014, Industry Analysis of Autonomous Mine Haul Truck Commercialization. Simon Fraser University. http://summit.sfu.ca/system/files/iritems1/14425/SBrundrett_Capstone.pdf
7. Walker S. 2014, Autonomy gradually gains momentum. *Engineering and Mining Journal*, vol. 215, no. 1, pp. 32–37.
8. Enzweiler M. 2015, The mobile revolution – machine intelligence for autonomous vehicles. *It-Information Technology*, vol. 57, no. 3, pp. 199–202. <https://doi.org/10.1515/itit-2015-0009>
9. Bigel N.V. 2017, Advantages and capabilities of a robotic dump truck with a lifting capacity of 130 tons. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. S38, pp. 53–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-53-57>
10. Egorov A. N. 2016, Robotic dump truck BelAZ with a lifting capacity of 136 tons. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automobile industry], no. 11, pp. 1–4. (In Russ.)
11. Uhlemann E. 2015, Active safety vehicles evolving toward automated driving [connected vehicles]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 10, no. 4, pp. 20–23. <https://doi.org/10.1109/MVT.2015.2481118>
12. Dadhich S., Bodin U., Andersson U. 2016, Key challenges in automation of earth-moving machines. *Automation in Construction*, vol. 68, pp. 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.009>
13. Rio Tinto. 2014, Rio Tinto improves productivity through the world's largest fleet of owned and operated autonomous trucks.
14. Gölbaşı O., Dagdelen K. 2017, Equipment Replacement Analysis of Manual Trucks with Autonomous Truck Technology in Open Pit Mines. Conference Paper (PDF Available), August.
15. Nam D., Lee S., Kim N. 2016, Issue-Tree and QFD Analysis of Transportation Safety Policy with Autonomous Vehicle. *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 15, no. 4, pp. 26–32.

*khasin@ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6081-4474>

16. Schoettle B., Sivak M. 2017, Potential Improvements in Safety and Efficiency with Autonomous Trucking. No. SWT-2017-19, 32 p. <http://umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2017-19.pdf>
17. Burgard W., Franke U., Enzweiler M., Trivedi M. 2016, The mobile revolution – machine intelligence for autonomous vehicles (Dagstuhl Seminar 15462). *Dagstuhl Reports – Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik*, vol. 5, no. 11. <https://doi.org/10.4230/DagRep.5.11.62>
18. Morell J. 2017, Self-Driving Mining Trucks. *Mechanical Engineering Magazine*.
19. Gustafson A., Schunnesson H., Kumar U. 2015, Reliability analysis and comparison between automatic and manual load haul dump machines. *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 31, no. 3, pp. 523–531. <https://doi.org/10.1002/qre.1610>
20. Knights P., Franklin D. 2017, Autonomous Surface Mining Equipment: Is Bigger Better? <https://www.researchgate.net/publication/50805959>

The article was received on May 12, 2020