

Обзор систем безлюдных грузовых перевозок на карьерах*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36>

ВОРОНОВ А.Ю.

Канд. техн. наук, доцент кафедры АП
ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: voronovayu@kuzstu.ru

ВОРОНОВ Ю.Е.

Доктор техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой АП
ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: vyue.ap@kuzstu.ru

СЫРКИН И.С.

Канд. техн. наук, доцент кафедры ИиАП
ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия

НАЗАРЕНКО С.В.

Главный конструктор инновационных
автомобилей ПАО «КАМАЗ»,
423827, г. Набережные Челны, Россия

ЮНУСОВ И.Ф.

Руководитель группы по разработке
автономных автомобилей и автомобилей
с ADAS ПАО «КАМАЗ»,
423827, г. Набережные Челны, Россия

В открытых горных работах все еще в значительной степени присутствует «человеческий фактор», серьезно тормозящий развитие отрасли. Это часто приводит к снижению производительности горных работ и большим затратам. Исправить ситуацию способны системы безлюдных (роботизированных) грузовых перевозок, которые уже более 10 лет используются на карьерах. Большая часть техники на таких карьерах удаленно управляется электроникой, за что их иногда называют «умными карьерами». Устранение «человеческого фактора» из производственного процесса теоретически должно повысить безопасность и производительность этого процесса, а также снизить эксплуатационные затраты на его выполнение. Однако, несмотря на явные преимущества данной технологии, распространение ее в мире ограничено. Это говорит о том, что существуют проблемы, препятствующие ее развитию. В данной работе проведены обзор и анализ опыта промышленного внедрения безлюдных карьерных перевозок с целью выявления существующих проблем и возможных направлений их дальнейшего развития. Изложены предпосылки, краткая история и некоторые результаты внедрения систем безлюдных карьерных перевозок, основные их виды, составные части и производители, а также определены существующие проблемы и ожидаемые направления развития.

Ключевые слова: карьер, человеческий фактор, беспилотный карьерный самосвал, автоматизация, безлюдные перевозки, удаленное управление.

Для цитирования: Обзор систем безлюдных грузовых перевозок на карьерах / А.Ю. Воронов, Ю.Е. Воронов, И.С. Сыркин и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 30-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36>.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по Соглашению от 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в рамках Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

ВВЕДЕНИЕ

В технологическом процессе открытых горных работ (ОГР) задействованы сотни людей и десятки тяжелых грузочных и транспортных машин, которые должны работать непрерывно, зачастую в сложных климатических условиях [1, 2]. Напряженная и монотонная работа приводит к утомлению, ошибкам и, как итог, к авариям. Многие горнодобывающие предприятия сталкиваются с усложнением условий добычи: углублением карьеров, высокогорной добычей, риском обрушения бортов и другими проблемами безопасности, из-за которых ведение горных работ может быть вообще запрещено [3, 4]. В отдаленных и малонаселенных регионах затруднены доставка рабочих, их размещение, питание и т. д. Кроме того, компетентные специалисты часто отказываются работать в подобных условиях. Таким образом, основные проблемы на ОГР возникают из-за так называемого «человеческого фактора».

Устранение «человеческого фактора» позволит избавиться от непроизводительных простоев техники (при пересменах, обедах и т. д.). Также появится возможность изменять состав технологических парков независимо от того, сколько операторов имеется в наличии [5].

Один из новых, неожиданных доводов в пользу устранения «человеческого фактора» из ОГР – пандемия коронавируса, в ходе которой многие горнодобывающие предприятия по всему миру были вынуждены сократить объемы добычи, приостановить работу либо вовсе закрыться, чтобы предотвратить распространение инфекции.

Для решения проблем, возникающих при работе в неблагоприятных условиях, а также для повышения производительности работ все больше горнодобывающих компаний по всему миру используют системы автоматизированного управления горными машинами.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕЗЛЮДНЫХ КАРЬЕРОВ

Термин «автоматизированные горные работы» означает изменение технологии работ таким образом, чтобы исключить использование человеческого труда в месте проведения горных работ. Сюда входят: автоматизация работ, включая автоматизацию технологического процесса и программного обеспечения для него; использование автоматизированного управления горным оборудованием [6].

Обычно выделяют четыре уровня автоматизации горного оборудования. Первый, самый простой и дешевый, – дистанционное управление (ДУ). Его обычно используют для управления работой оборудования в опасных локациях, где есть риск обрушений, подтоплений и т. д. Машина находится в поле зрения оператора, который использует пульт ДУ. При этом производительность часто снижается, так как эффективность ДУ, как правило, ниже обычного.

Второй уровень – телеметрическое управление: оборудование управляется оператором, находящимся на значительном удалении от места работ, с помощью видеокамер, датчиков и т. д. Телеуправление позволяет управлять из безопасного места, а также получать более полную инфор-

мацию о состоянии машин. Снижение производительности может произойти и здесь, однако оператор находится от источника опасности значительно дальше, чем при ДУ.

На третьем уровне один оператор регулирует деятельность уже нескольких единиц техники, которые перемещаются по алгоритму, заложенному специальной программой. Оператор осуществляет общий контроль процесса, при необходимости внося коррективы.

Четвертый, наивысший уровень, – полная автоматизация, когда техника работает совершенно самостоятельно, без участия людей. Автоматические системы берут на себя управление зажиганием, переключением передач, маневрированием, торможением, разгрузкой и т. д. Полная автоматизация позволяет увеличить производительность горных машин, а использование программ для управления машинами позволяет оператору «руководить» их работой, контролировать эффективность и вмешиваться при возникновении проблем.

На сегодняшний день открытая добыча полезных ископаемых в развитых странах с недостатком и высокой стоимостью рабочей силы находится на этапе перехода к полной автоматизации. В развивающихся странах и странах третьего мира, где стоимость рабочей силы невысока, потребность в автоматизации остается низкой.

Первые попытки автоматизации горного оборудования предпринимались еще в 1960-х годах. Японская компания Komatsu испытала беспилотный карьерный самосвал в 1990 г. [7], американская Caterpillar – в 1995 г. [8], но в реальном производстве беспилотные самосвалы были применены только в 2007 г. – на медном карьере Gabriela Mistral (Чили). Системы безлюдных перевозок (СБП) Komatsu [9] и Caterpillar [10] уже широко внедрены в реальное производство, система Hitachi [11] начала полноценную работу в 2020 г.

Разработки собственных СБП ведут также БелАЗ (Беларусь), Liebherr (Германия), Volvo и Scania (Швеция), ХЕМС (Китай), ETF (Словения) и КамАЗ (Россия). Автоматизацией карьерной техники занимаются и независимые компании, такие как ASI (США) и RCT (Австралия).

Под СБП обычно понимается система, включающая персонал, технологические устройства, инфраструктуру, программное обеспечение и позволяющая карьерным самосвалам работать без водителей.

Беспилотный карьерный самосвал должен быть оборудован: средствами беспроводной связи; датчиками навигации и обнаружения препятствий; бортовым оборудованием для обработки данных с датчиков; контроллером для координации рулевого управления и торможения; системой навигации для определения местоположения в реальном времени; программным обеспечением для локального и общего контроля [12, 13].

В настоящее время это оборудование устанавливается на уже существующие машины. Технически возможно избавиться от оператора почти любую технику, но каждый случай индивидуален. Стоимость переоснащения часто сопоставима со стоимостью новой единицы техники, поэтому выгоднее собирать беспилотную машину уже на заводе. Почти все новые самосвалы трех ведущих производителей разрабатываются с учетом возможности доосна-

щения. В будущем будут создаваться машины, изначально спроектированные как беспилотные.

Ключевой компонент СБП – автоматизированная система диспетчеризации, которая осуществляет управление работой погрузочно-транспортного комплекса карьера и краткосрочное планирование его работы. Каждый из производителей использует «родную» систему диспетчеризации: Komatsu – систему DISPATCH от своей дочерней компании Modular Mining Systems, Caterpillar – собственную систему MineStar, Hitachi – систему Wencomine от дочерней Wenco International Mining Systems.

Komatsu. В СБП FrontRunner от Komatsu управление жестко централизовано. Центр управления наблюдает за каждой машиной в беспилотной зоне, производит динамическое распределение самосвалов по пунктам погрузки и разгрузки и построение маршрутов для них. Система отслеживает любые возможные взаимодействия беспилотной и пилотируемой техники, позволяя беспилотному автопарку работать в строгом соответствии с планом.

Поскольку каждый самосвал работает точно так, как запрограммировано, нестабильности практически отсутствуют, что позволяет горнодобывающим предприятиям достигать стабильной, надежной и воспроизводимой производительности для каждого цикла, смены и суток. Пользователи FrontRunner сообщают о снижении удельных затрат на погрузку и транспортирование более чем на 15% по сравнению с традиционными методами работы.

Оптимизированное автоматическое управление также уменьшает вероятность ошибочного ускорения и рулевого управления, что позволяет увеличить срок службы шин на 40% по сравнению с операциями с участием людей. За десятилетие коммерческой эксплуатации система FrontRunner достигла рекорда безопасности с нулевой аварийностью. Навигационные элементы управления системы работают для предотвращения столкновений между самосвалами, служебными автомобилями или другими единицами оборудования.

Горнодобывающие компании, внедряющие технологию FrontRunner, с 2007 г. и по сегодняшний день перевезли уже более 3,5 млрд т горной массы. Около 150 беспилотных самосвалов Komatsu используются на девяти карьерах [9, 14].

Caterpillar. В СБП Command for Hauling от Caterpillar основное управление сосредоточено в самосвале. Центр управления выдает указания по распределению машин между пунктами погрузки-разгрузки, но самосвалы сами и прокладывают маршруты, и отслеживают возможные взаимодействия с другим оборудованием – беспилотным или нет. Поэтому бортовое оборудование беспилотных самосвалов Caterpillar несколько сложнее; они имеют на борту больше дорогой вычислительной мощности, но менее зависимы от центра управления, что позволяет несколько разгрузить его и задействовать больше самосвалов.

Несмотря на то, что системы Komatsu и Caterpillar различаются в техническом плане, функционально они практически идентичны. Технические различия говорят о том, что затраты на оснащение центра управления и бортовое оборудование будут различаться (как и стоимости лицензий), но общая стоимость двух систем примерно одинакова,

хотя и зависит от численности парка оборудования. Обе системы могут быть установлены на уже имеющуюся технику, хотя у Komatsu и есть некоторые проблемы с дооснащением машин других производителей. Caterpillar отмечает, что таким образом горнодобывающие предприятия могут в несколько этапов добиться полной автоматизации.

СБП Command for Hauling снижает эксплуатационные расходы карьера на 20%, повышает производительность на 30% и снижает количество инцидентов, связанных с безопасностью, на 50%. Она обеспечивает почти непрерывную работу, поддерживает интеграцию с другими существующими системами и помогает сократить простои, предупреждая обслуживающий персонал о проблемах с машиной.

В настоящее время более чем на девяти карьерах по всему миру эксплуатируется более 350 карьерных самосвалов Caterpillar, оснащенных автономным управлением Command for Hauling. К апрелю 2020 г. компания Caterpillar зафиксировала 2 млрд т перевезенных грузов с помощью своей СБП. Коммерчески запущенное в 2013 г. решение на сегодняшний день перевезло уже более 2,5 млрд т [10, 14].

Hitachi. Компания Hitachi начала испытания своей СБП на разрезе Meandu австралийской электроэнергетической компании Stanwell в восточной Австралии в 2013 г. В 2015 г. компания объявила о планах разработки СБП в сотрудничестве со своей дочерней компанией Wenco International Mining Systems. Испытания на Meandu были успешно завершены в 2017 г. Компания достигла соглашения с Whitehaven Coal о совместном проектировании и развертывании СБП на разрезе Maules Creek в Новом Южном Уэльсе (Австралия) в 2018 г. В 2020 г. система была введена в эксплуатацию. Решение Hitachi использует систему Smart Mining Truck и систему диспетчеризации, предоставленную Wenco. Компания позаимствовала технологию регулирования движения беспилотных самосвалов из железнодорожной отрасли.

В 2021 г. Hitachi договорилась с компанией ABB о сотрудничестве в разработке решений по беспилотному управлению карьерными экскаваторами. Также Hitachi инвестировала в проект по разработке «лидера спектрального сканирования» с расширенным сектором сканирования, который поможет Hitachi усовершенствовать свои системы управления беспилотными самосвалами и экскаваторами [11, 14].

Liebherr. Компания Liebherr проводит испытания на своей площадке в США и планирует продавать «готовые к автономии» карьерные самосвалы, которые могут легко принять стороннюю СБП (Caterpillar, Komatsu, ASI и т. д.) для автоматизации горных работ. Hitachi также публично заявляла об открытой интероперабельной автоматизации.

Клиентам будет предложено три варианта поставок для поддержки различных подходов к автоматизации:

- комплект, готовый к автономии: машина, спроектированная и настроенная с учетом возможности электронного управления;

- автономный комплект: беспилотная машина, оснащенная бортовой электроникой, способная интегрироваться через открытый протокол в системы управления движением;

– комплексное решение: комплексное решение для безлюдных перевозок, интегрированное с системой управления движением и системой диспетчеризации.

Liebherr намеревается предоставить открытую архитектуру, обеспечивающую гибкость и экономичность в реализации решений по использованию СБП. Такой подход позволит использовать продукцию Liebherr наряду с оборудованием других производителей и выбирать наиболее подходящих поставщиков для сторонних решений. В частности, новые беспилотные самосвалы Liebherr будут совместимы с Mobius, автономной платформой управления и контроля от Autonomous Solutions, Inc. (ASI) [14].

Volvo. В 2018 г. Volvo достигла соглашения о предоставлении коммерческого автономного решения для перевозки известняка из карьера Brønnøy Kalk в Вельфьорде (Норвегия) в ближайший порт. Чуть позже были проведены испытания 6 автономных самосвалов Volvo FH. Использование беспилотных самосвалов стало первым для Volvo Trucks.

Предложенная компанией СБП TARA предусматривает использование не имеющих кабины беспилотных самосвалов TA15 вместимостью 15 т, работающих на аккумуляторно-электрической трансмиссии. Оснащенный GPS, лидаром и датчиками, беспроводной самосвал может объезжать препятствия и подключаться к другим самосвалам TA15 для оптимальной загрузки и повышения эффективности перевозок.

Volvo Group также осуществляет исследовательский проект по разработке полностью автономных грузовых автомобилей для клиентов из горнодобывающей промышленности. Беспилотный грузовик FMX – это проект, реализуемый в партнерстве с Saab. Ранее он был испытан на карьере Kristineberg в Швеции на глубине более 1300 м [14].

Scania. Scania и Rio Tinto тестируют беспилотный самосвал нового поколения на соляных карьерах Dampier Salt в Западной Австралии. Первый этап испытаний начался в 2018 г. с использованием автономного самосвала Scania XT 8x4, который работал отдельно от активных операций. В 2019 г. Scania объявила о концепции автоматизированной перевозки без кабины водителя для горнодобывающих предприятий. Концепт полностью автономного самосвала без кабины, известный как Scania AXL, был впервые продемонстрирован в октябре 2019 г. Концептуальный автомобиль, разработанный командой экспертов Scania, управляется и контролируется интеллектуальной системой управления. Его двигатель внутреннего сгорания питается от возобновляемого биотоплива [14].

ASI. Компания ASI занимается робототехникой и предлагает различные решения для автоматизации горных работ. В 2006 г. ASI автоматизировала свой первый самосвал на медном карьере на западе США, а в 2011 г. приступила к разработке автономных решений для добычи полезных ископаемых. Хотя ASI занимает очень ограниченную часть рынка СБП, ее системы управляют более чем 13 000 автоматизированных транспортных средств 70 различных типов по всему миру, используемых в горнодобывающей промышленности, сельском хозяйстве и военном деле. Ее технология используется

на автоматических погрузчиках, экскаваторах, мини-погрузчиках, самосвалах с шарнирно-сочлененной рамой и жесткой рамой.

ASI предлагает модульные автономные решения, основанные на их основной независимой платформе управления и контроля – Mobius. Универсальность платформы Mobius позволяет ASI предлагать расширенный контроль над каждым аспектом автоматизации машин с возможностью поэтапной полной интеграции мобильных автономных операций. Этот переход начинается с менее сложных приложений, которые постепенно переходят к более сложным в индивидуальном порядке, что позволяет каждому предприятию гибко и достигимо переходить к новым операциям. ASI реализовала свои решения на самосвалах и буровых установках в условиях горнодобывающей промышленности, и эти системы имеют архитектуру, аналогичную Caterpillar и Komatsu. Системы ASI более прозрачны и сертифицированы по негорным международным стандартам безопасности для автономных систем. Их присутствие в недобывающем секторе является ключевым отличием от систем Caterpillar и Komatsu, которые являются закрытыми даже для операторов и владельцев карьеров [14].

БелАЗ. В начале 2010-х годов компания ВИСТ Групп в партнерстве с ОАО «БелАЗ» начала разработку отечественной СБП «Интеллектуальный карьер». В августе 2019 г. начались испытания отечественного комплекса безлюдных карьерных перевозок на базе самосвалов БелАЗ-7513R. Два самосвала грузоподъемностью 130 т работали на разрезе «Черногорский» (ООО «СУЭК-Хакасия») с экскаватором ЭКГ-8У. Беспилотные машины двигались по выделенному маршруту протяженностью 1350 м и перевозили вскрышу. По плану эксплуатация роботов должна была перейти в круглосуточный режим, и этот цикл мог бы повторяться без необходимости непосредственного участия человека в процессе. Результаты испытаний не афишируются [14].

ПЕРСПЕКТИВЫ БЕЗЛЮДНЫХ КАРЬЕРОВ

К маю 2022 г. количество беспилотных карьерных самосвалов, находящихся в эксплуатации во всем мире, составляло 1068 единиц (в мае 2021 г. – 769), что означает годовой прирост на 39%, и ожидается, что к концу 2025 г. эта цифра превысит 1800 единиц. Основные пополнения поступят от компании ВНР, которая планирует до 2023 г. автоматизировать до 500 самосвалов на своих железных рудниках в Западной Австралии и угольных карьерах Квинсленда. Canadian Natural Resources и Suncor Energy планируют добавить более 100 беспилотных самосвалов на свои карьеры по добыче нефтеносных песков до конца 2025 г.

Наибольшее количество беспилотных карьерных самосвалов находится в Австралии – 706, по сравнению с 561 в 2021 г. и 381 двумя годами ранее. За ней следуют Канада со 177 самосвалами (в 2021 г. – 143), Китай с 69 самосвалами и Чили с 33 самосвалами. Беспилотные самосвалы работают на 25 карьерах в Австралии (во всем остальном мире – на 19). Распределение беспилотных карьерных самосвалов по странам представлено на рис. 1.

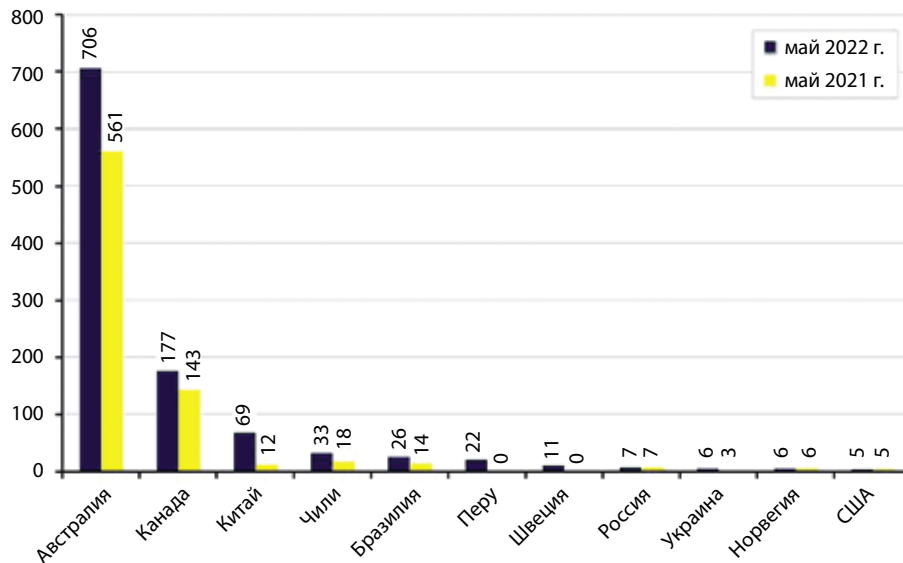


Рис. 1. Распределение беспилотных карьерных самосвалов по странам [15]

Fig. 1. Distribution of unmanned mining trucks by countries [15]

Caterpillar и Komatsu являются двумя основными поставщиками автономных карьерных самосвалов, на долю которых приходится 86,5% рынка, при этом модели 793F и 930E являются наиболее популярными моделями для этих двух производителей [15].

Больше всего безлюдных карьеров находится в Пилбаре, регионе на западе Австралии, который отличается жарким, засушливым климатом и низкой плотностью населения. Основной проблемой компаний, ведущих ОГР в Пилбаре, является недостаток квалифицированного персонала. Даже за большие деньги мало кто согласен работать в таких условиях.

Горнодобывающей компании Rio Tinto первой удалось максимально исключить дорогую рабочую силу и убрать значительное число сотрудников из плохо переносимых условий работы. Сегодня Rio Tinto на своих рудниках в Пилбаре использует около 190 беспилотных карьерных самосвалов (в основном Komatsu), которыми удаленно

управляют операторы из центра в Перте, за 1200 км от места добычи. Производительность автоматизированных предприятий по сравнению с обычными возросла на 13%. Использование беспилотных самосвалов по времени составило почти 70% (обычных – 50-60%) (рис. 2). В 2017 г. каждый автономный самосвал работал на 700 ч дольше, чем пилотируемый, а эксплуатационные затраты снизились на 15%. В 2019 г. были автоматизированы железнодорожные линии, по которым руда вывозится в порты, что также положительно сказалось на эффективности работ.

Синяя линия (см. рис. 2) показывает степень эффективного использования обычных самосвалов, красная линия – степень использования беспилотных самосвалов. Вертикальными серыми полосами отмечены перерывы в работе (пересмены, обеды).

По прогнозам, потенциальное снижение эксплуатационных затрат на безлюдных карьерах может составить 30%, из которых 17% – это затраты на техническое обслужи-

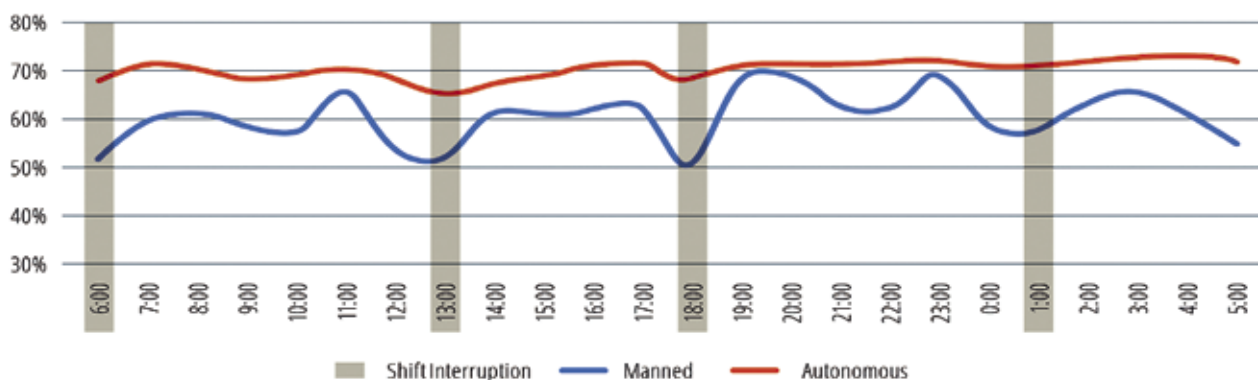


Рис. 2. Эффективное использование обычных и беспилотных карьерных самосвалов [12]

Fig. 2. Effective utilization of manned versus autonomous mining trucks [12]

вание (благодаря увеличению срока службы шин и улучшенному сбору данных о техническом состоянии машин) [12, 16]. В работе [13] установлено, что более размеренное движение беспилотных самосвалов позволит снизить расход топлива на 5-7%, а износ шин – на 7%.

Компания Vale S.A. ожидает, что внедрение безлюдных перевозок снизит расход топлива более чем на 10%, затраты на ТО – на 10%, износ шин – на 25%. Срок службы техники возрастет на 15%, что снизит капитальные затраты и вредные выбросы [14, 16].

Несмотря на все достоинства, имеющийся опыт внедрения СБП на карьерах свидетельствует о том, что при реализации таких проектов возникают различные проблемы:

- недостаток квалифицированных кадров. При переходе на использование СБП необходимо организовать переподготовку соответствующего персонала, что повлечет за собой дополнительные расходы;

- проблема совместимости оборудования;

- проблема интероперабельности;

- удорожание техники на 20–30% вследствие модернизации, повышенный ее износ из-за увеличения времени эксплуатации и большой срок окупаемости мероприятий;

- сопротивление сотрудников предприятия. Это вызвано все тем же «человеческим фактором»: страхом перед нововведениями, консерватизмом, опасением потерять работу или свою незаменимость, боязнью существенно увеличивающейся ответственности за свои действия.

Все эти недостатки приводят к тому, что в настоящий момент на большинстве карьеров мира безлюдные перевозки пока не используются [12, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на вышеперечисленные проблемы, все идет к тому, что безлюдные карьерные грузоперевозки будут развиваться далее и распространяться по всему миру.

Из-за падения цен на оборудование для автоматизации, роста стоимости рабочей силы и доказанного повышения безопасности количество компаний, заинтересованных в СБП, и количество производителей, производящих СБП, в последние годы увеличилось, при этом более мелкие компании все чаще заявляют о своих планах инвестировать в СБП. Вскоре СБП будут производиться большим количеством компаний, приобретаться большим количеством клиентов и внедряться в большем количестве стран, чем когда-либо прежде, превращая СБП из нишевого продукта, который могут себе позволить только крупные компании, в товар первой необходимости, а в будущем – в стандарт для горной промышленности. Горнодобывающие компании уже планируют свои карьеры под СБП, что вскоре станет стандартом для открытой добычи полезных ископаемых. Это означает, что планирование горных работ, инфраструктура, транспортные средства и специальные рабочие зоны СБП будут проектироваться для карьера с самого начала, а не для модернизации существующего карьера.

Можно с уверенностью говорить, что будущее горнодобывающей промышленности связано с автоматизаци-

ей, которая, хотя и имеет свои недостатки, все же явно более совершенна и выгодна, чем традиционные, физически и морально устаревшие технологии.

Список литературы

1. Дубинкин Д.М., Голофастова Н.Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного транспорта // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 11. С. 8-12.
2. Анализ и перспективность применения отечественного тягового привода автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т / Д.М. Дубинкин, В.Ю. Садовец, А.Б. Карташов и др. // Техника и технология горного дела. 2022. № 2. С. 22-36.
3. Дубинкин Д.М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3. С. 31-49.
4. Дубинкин Д.М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2. С. 39-50.
5. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова / А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин, С.О. Марков и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 6. С. 85-93.
6. Brown C. Autonomous vehicle technology in mining // Engineering & Mining Journal. 2012. No. 213. P. 30-32.
7. Fiscor S. Komatsu debuts advanced autonomous systems // Engineering & Mining Journal. 2018. No. 219. P. 52-57.
8. Schmidt D. For the long haul // Coal Age. 2014. No. 119. P. 26–29.
9. FrontRunner Autonomous Haulage System. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.komatsuamerica.com/autonomous-haulage-system> (дата обращения: 15.11.2022).
10. Command for Hauling. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/surface-mining/surface-technology/command/command-for-hauling.html (дата обращения: 15.11.2022).
11. Autonomous Haulage System for Mining Rationalization. [Электронный ресурс]. URL: https://www.hitachi.com/rev/archive/2018/r2018_01/10a07/index.html (дата обращения: 15.11.2022).
12. Mine planning and selection of autonomous trucks / R. Price, M. Cornelius, L. Burnside et al. // MPES-2019 Proceedings. 2020. P. 203-212.
13. Parreira J. An interactive simulation model to compare an autonomous haulage truck system with a manually-operated system, PhD thesis, The University of British Columbia, Canada, 2013.
14. Report 2 – Autonomous mining equipment // New Technology & Innovation, RFC Ambrian. 2019. 36 p.
15. Global Autonomous Mining Truck Population Tops 1,000. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globaldata.com/data-insights/mining/global-autonomous-mining-truck-population-tops-1000/> (дата обращения 15.11.2022).
16. Golbasi O., Dagdelen K. Equipment replacement analysis of manual trucks with autonomous truck technology in open pit mines / 38th APCOM Proceedings. 2017. P. 19-9–19-20.
17. Leonida C. Optimizing autonomous haulage // Engineering & Mining Journal. 2019. No. 220. P. 52-57.

Original Paper

UDC 622.23.05 © A.Yu. Voronov, Yu.E. Voronov, I.S. Syrkin, S.V. Nazarenko, I.F. Yunusov, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 512, pp. 30-36
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-512-30-36>

Title**A REVIEW OF UNMANNED HAULAGE SYSTEMS AT OPEN-PIT MINES****Authors**

Voronov A.Yu.¹, Voronov Yu.E.¹, Syrkin I.S., Nazarenko S.V., Yunusov I.F.

¹ Gorbachev's Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

² KAMAZ, Naberezhnye Chelny, 423827, Russian Federation

Authors Information

Voronov A.Yu., PhD (Engineering), Associate Professor of Department of Automobile Transportation, e-mail: voronovayu@kuzstu.ru

Voronov Yu.E., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department of Automobile Transportation, e-mail: vyue.ap@kuzstu.ru

Syrkin I.S., PhD (Engineering), Associate Professor of Department of Information and Automated Production Systems

Nazarenko S.V., Chief Designer of Innovative Vehicles

Yunusov I.F., Head of Autonomous Vehicle and ADAS Vehicle Development Group

Abstract

In open pit mining, the “human factor” is still present to a large extent, seriously hindering the development of the industry. All this often leads to a decrease in mining productivity and high costs. Unmanned (or autonomous) haulage systems, which have been used at open-pit mines for more than 10 years, are capable of correcting the situation. Most of the equipment at such mines is remotely controlled by electronics, for which these mines are sometimes called “smart mines”. The elimination of the “human factor” from the operation should theoretically increase its safety and productivity, as well as reduce the operating costs of its implementation. However, despite the clear advantages of this technology, its spreading in the world is limited. This suggests that there are problems hindering its development. In this article, a review and analysis of the experience in the industrial implementation of unmanned haulage in open-pit mining are made in order to identify existing problems and possible directions for further development. The prerequisites, a brief history and some results of the implementation of unmanned haulage systems in open-pit mining, its main types, constituent elements and manufacturers are outlined, as well as the existing problems and expected directions of development are highlighted.

Keywords

Open-pit mine, Human factor, Autonomous mining truck, Automation, Unmanned haulage, Remote control.

References

- Dubinkin D.M. & Golofastova N.N. Engineering solutions in improving the environmental safety of quarry transport. *Ecology and industry of Russia*, 2022, Vol. 26, (11), pp. 8-12. (In Russ.).
- Dubinkin D.M., Sadovets V.Yu., Kartashov A.B. et al. Analysis and prospects of using a domestic traction drive of an autonomous mining dump truck with a lifting capacity of 240 tons. *Technique and technology of mining*, 2022, (2), pp. 22-36. (In Russ.).
- Dubinkin D.M. Methodology for determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a dump truck. *Mining equipment and electromechanics*, 2022, (3), pp. 31-49. (In Russ.).
- Dubinkin D.M. Fundamentals of digital creation of autonomous mining dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*, 2022, (2), pp. 39-50. (In Russ.).
- Horeshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O. & Tyulenev M.A. On the change in the effective productivity of excavators when using quarry dump trucks with different body capacity. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, (6), pp. 85-93. (In Russ.).

6. Brown S. Technology of autonomous vehicles in the mining industry. *Engineering & Mining Journal*, 2012, (213), pp. 30-32.

7. Fiscor S. Komatsu debuts in advanced autonomous systems. *Engineering & Mining Journal*, 2018, (219), pp. 52-57.

8. Schmidt D. In the long term. *Coal Age*, 2014, (119), pp. 26-29.

9. Advanced autonomous transport system. [Electronic resource]. Available at: <https://www.komatsuamerica.com/autonomous-haulage-system> (accessed 15.11.2022).

10. Team for towing. [Electronic resource]. Available at: https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/surface-mining/surface-technology/command-command-for-hauling.html (accessed 15.11.2022).

11. Autonomous transport system for rationalization of mining. [Electronic resource]. Available at: https://www.hitachi.com/rev/archive/2018/r2018_01/10a07/index.html (accessed 15.11.2022).

12. Price R., Cornelius M., Burnside L. & Miller B. Mine planning and the choice of autonomous trucks. *Materials MPES-2019*, 2020, pp. 203-212.

13. Parreira J. Interactive simulation model for comparing an autonomous truck system with a manually operated system, PhD thesis, University of British Columbia, Canada, 2013.

14. Report 2 - Autonomous mining equipment. *New technologies and innovations, RFC Ambrian*, 2019, 36 p.

15. The world population of autonomous mining dump trucks exceeds 1000 people. [Electronic resource]. Available at: <https://www.globaldata.com/data-insights/mining/global-autonomous-mining-truck-population-tops-1000> (accessed 15.11.2022).

16. Golbasi O. & Dagdelen K. Analysis of the replacement of manual dump truck equipment with autonomous dump truck technology in open pits. 38th APCOM Proceedings, 2017, pp. 19-9-19-20.

17. Leonida S. Optimization of autonomous transportation. *Engineering and Mining Journal*, 2019, (220), pp. 52-57.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle: “Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life” (the “Clean Coal – Green Kuzbass” Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project “Development and creation of an unmanned shuttle-type mine truck with a payload of 220 tonnes” in terms of research, development and experimental-design work.

For citation

Voronov A.Yu., Voronov Yu.E., Syrkin I.S., Nazarenko S.V. & Yunusov I.F. A review of unmanned haulage systems at open-pit mines. *Ugol'*, 2022, (512), pp. 30-36. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-512-30-36.

Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022