

**Воронов Артем Юрьевич**, канд. техн. наук, **Воронов Юрий Евгеньевич**, доктор техн. наук, профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: voronovayu@kuzstu.ru

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА КАРЬЕРАХ**

***Аннотация:** Системы роботизированных (безлюдных) грузовых перевозок с удаленным управлением уже более 10 лет используются на открытых горных работах. Устранение «человеческого фактора» из производственного процесса, как правило, позволяет повысить его безопасность и производительность, а также снизить эксплуатационные затраты. Несмотря на очевидные преимущества безлюдной технологии, распространяется она не так быстро, как ожидалось. Это говорит о том, что существует ряд проблем, ограничивающих развитие данной технологии. Поэтому обзор и анализ опыта применения систем роботизированных перевозок на карьерах с целью выявления возможных направлений их дальнейшего развития представляется актуальной задачей.*

***Цель работы** – обзор и анализ опыта применения систем роботизированных перевозок на карьерах для определения перспектив их совершенствования.*

***Методы исследования.** В данной работе использованы методы теоретического и эмпирического познания: абстрагирование, сравнение, анализ и синтез.*

***Результаты.** Изложены предпосылки, краткая история и некоторые важные результаты внедрения систем роботизированных грузовых перевозок на карьерах, основные их виды и составляющие их элементы, а также выделены существующие проблемы и ожидаемые направления их развития.*

***Ключевые слова:** карьер; карьерный самосвал; автоматизация; роботизированные перевозки; удаленное управление*

***Информация о статье:** принята 12 декабря 2019 г.*

*DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-16-24*

В процессе добычи полезных ископаемых открытым способом, как правило, задействованы сотни людей и десятки тяжелых механизмов, которые должны работать по жесткому графику, зачастую в неблагоприятных климатических условиях. Кабины современных карьерных автосамосвалов, экскаваторов и бульдозеров оснащены кондиционерами, атермальными стеклами, удобными сиденьями, но и они не способны полностью избавить операторов от шума и вибрации. Напряженная и при этом монотонная работа приводит к утомлению, а, следовательно, и к ошибкам. Но любая ошибка в карьере, где в ограниченном пространстве с максимальной интенсивностью работает множество многотонных машин, может привести не только к серьезной аварии, но и к катастрофе. Подавляющее большинство аварий на открытых горных работах происходит из-за «человеческого фактора».

Ряд горнодобывающих предприятий сталкивается с усложнением условий добычи: углублением карьеров, высокогорной добычей, риском обрушения бортов и другими проблемами безопасности, из-за которых предприятию могут вообще запретить работать. Так произошло, например, в старейшем карьере США «Bingham Canyon». После

катастрофического оползня в 2013 году здесь пришлось перейти на автоматизированное управление экскаваторами, бульдозерами и другим оборудованием в нестабильных локациях.

В отдаленных и малонаселенных регионах затруднена логистика персонала: доставка рабочих в места приложения труда, где их нужно разместить, накормить, развлечь и т.д., стоит значительных усилий и денег. Известны случаи, когда из-за природных форс-мажоров компаниям приходилось доставлять водителей с помощью авиации. Кроме того, часто сложно найти компетентных людей, которые могли и хотели бы испытать тяготы работы в карьере.

Итак, чем меньше людей участвует в производстве, тем меньше затраты на инфраструктуру и наем персонала.

Кроме этого, устранение «человеческого фактора» позволяет избавиться от значительных непроизводительных простоев оборудования (при пересменах, обедах и т.д.). Испытания, проводившиеся с 2013 г. компанией «Caterpillar», показали, что производительность беспилотных самосвалов до 20% выше, чем обычных. Степень их использования превышала 90%, поскольку они практически не простаивали и работали в среднем на 2,5 часа дольше

обычных самосвалов. Отсутствие людей позволяет избавиться от таких «человеческих» проблем, как образование колонн позади слишком осторожных водителей или неразбериха в случае доставки груза в неназначенный пункт. Также появляется возможность добавлять или убирать самосвалы вне зависимости от того, сколько операторов имеется в наличии [1, 2].

Для решения проблем, возникающих при выполнении работы в неблагоприятных условиях, а также для увеличения производительности, некоторые горные компании начали использовать автоматизацию управления горными машинами.

Автоматизированная добыча полезных ископаемых – общий термин, который обозначает изменение технологии добычи так, чтобы исключить использование труда людей в месте выемки полезных ископаемых. Сюда входит: 1) автоматизация добычи, включая автоматизацию технологического процесса и программного обеспечения для него; 2) использование роботизированного управления оборудованием. Залог успеха – достижение точной повторяемости рабочих процессов, при которой самосвалы всегда будут устанавливаться в правильные точки при погрузке и разгрузке, двигаться с требуемой скоростью и доставлять грузы в правильные места. Кроме того, можно будет повысить точность и скорость бурения взрывных скважин; таким образом, горнотранспортные комплексы карьеров смогут перерабатывать все больше горной массы [3].

Специалисты выделяют 4 уровня автоматизации горнодобывающего оборудования. Первый, простейший уровень – дистанционное управление; его обычно используют для управления работой такого оборудования, как экскаваторы и бульдозеры. Оператор находится относительно недалеко от машины – так, что она находится в его поле зрения – и использует пульт дистанционного управления для выполнения обычной работы. Так как он гораздо хуже «чувствует машину», и объем поступающей визуальной (и иной) информации меньше, то при использовании дистанционного управления производительность обычно снижается. Дистанционное управление обычно используется при добыче в опасных местах – где есть риск оползней, взрывов, падения породы. Это самый недорогой способ автоматизации работы горных машин в опасных условиях, что делает это идеальным началом процесса автоматизации.

Второй уровень предусматривает телеметрическое управление – использование горного оборудования, которое управляется оператором, находящимся на значительном расстоянии, с помощью видеокамер, по сигналам датчиков и, возможно, с помощью дополнительного программного обеспечения, определяющего местоположение. Телеуправление позволяет убрать человека из опасного места на значительное расстояние и управлять оборудованием из безопасного места. При управлении машинами используются джойстики и другие средства подачи управляющих сигналов от человека, а специальное программное обеспечение позволяет оператору получать больше информации о состоянии

машины и ее положении. При использовании телеуправления может произойти снижение производительности, как и при дистанционном управлении, но оператор удален от источника опасности на значительно большее расстояние.

На третьем уровне один оператор регулирует деятельность уже нескольких единиц техники, а она перемещается по алгоритму, заложенному программой. Оператор контролирует процесс, если необходимо – вносит корректировки.

Четвертый, высший уровень – полная автоматизация, когда техника работает абсолютно самостоятельно, совершенно без участия людей. При полной автоматизации роботизированные системы полностью берут на себя управление зажиганием, переключением передач, рулевым управлением, торможением, высыпанием материала, положением отвала бульдозера и т.п. – без вмешательства оператора. 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 добыча полезных ископаемых в развитых странах с недостатком и высокой стоимостью рабочей силы находится на промежуточном этапе перехода к полной автоматизации. В странах третьего мира, где стоимость рабочей силы невысока, такая потребность в увеличении эффективности остается низкой.

Первые попытки автоматизации горного оборудования предпринимались еще в 60-х годах прошлого века. Компания «Komatsu» испытала беспилотный самосвал в 1990 году [4], «Caterpillar» – в 1995 году [2], но только в 2007 году автономные карьерные самосвалы начали применяться в действующих карьерах: компанией «Komatsu» был автоматизирован меднорудный карьер в Чили. Основными производителями, инвестирующими в беспилотные самосвалы, являются «Komatsu», «Caterpillar» и «Hitachi». Эти компании также имеют собственные разработанные и испытанные системы роботизированных перевозок (СРП). Системы «Komatsu» и «Caterpillar» уже широко внедрены в реальное производство, «Hitachi» планировала первое внедрение своей СРП на конец 2019 года. Разработки собственных СРП ведут также БелАЗ, «Liebherr» и «Volvo». Кроме того, автоматизацией карьерной техники занимаются и сторонние фирмы, такие как американская ASI (Autonomous Solutions Inc.).

Стандартного определения СРП в промышленности пока не существует, поэтому в данной статье этот термин относится к персоналу, технологическим устройствам, инфраструктуре и программному обеспечению, которые в совокупности создают систему, позволяющую карьерным автосамосвалам функционировать без водителей.

В составе СРП можно выделить ряд важнейших компонентов:

- беспилотные карьерные самосвалы, оснащенные электронными устройствами как собственного производства, так и от сторонних производителей;

- программное обеспечение, которое генерирует управляющие команды, а также контролирует и отслеживает движения и взаимодействия транспортных средств;

- сеть связи с беспроводным покрытием во всех областях;

- команда диспетчеров и вспомогательного персонала, управляющая транспортными средствами, устройствами, программным обеспечением и сетью связи.

Территория карьера, как правило, географически разделена на рабочие зоны пилотируемого и беспилотного транспорта. Все транспортные средства, въезжающие в беспилотную зону, оснащаются приемопередатчиками спутниковой связи, которые обеспечивают слежение, периметр безопасности или зону отчуждения. Самосвалы получают указания из удаленно расположенной диспетчерской по сети связи для навигации по путевым отсечкам.

Погрузочные машины (управляемые, как правило, людьми) имеют датчики местоположения, чтобы самосвалы перед загрузкой становились точно под ковш. Самосвалы могут разгружаться в пунктах дробления, на складах (перегрузочных или обычных) или отвалах. Диспетчерский персонал может отдавать самосвалам указания, которые передаются по беспроводным сетям (Wi-Fi или LTE/4G). Подсистемы обнаружения объектов (оснащенные радаром и/или лидаром) запрограммированы на остановку самосвала, если на его пути возникает препятствие.

Каждый роботизированный карьерный самосвал должен быть оборудован 1) средствами беспроводной связи; 2) датчиками навигации и обнаружения препятствий; 3) бортовым оборудованием для обработки данных с датчиков; 4) контроллером для координации рулевого управления и торможения; 5) системой навигации для определения местоположения в реальном времени; 6) программным обеспечением для локального и общего контроля [5].

На сегодняшнем этапе речь, как правило, идет об установке дополнительного оборудования на уже существующую машину. Комплекс технологических решений позволяет внедрить данную систему на любую технику. Устанавливаются специальные элементы согласования – электрогидравлические клапаны, по электропроводке подключаются элементы управления. Технически возможно избавить от оператора почти любую технику, но нужно рассматривать каждый случай в отдельности: можно ли внедрить в машину цифровое управление, поддерживает ли она стандартные протоколы и т.д. Стоимость модернизации зачастую соразмерна со стоимостью новой единицы техники. Поэтому предпочтительнее сборка роботизированной машины на заводе.

Почти все новые модели самосвалов указанных производителей грузоподъемностью 300 т и выше разрабатываются с учетом возможности дооснащения. В будущем будут производиться машины, изначально спроектированные как беспилотные.

В 2016 г. на выставке MINExpo «Komatsu» представила концепт карьерного самосвала IAHV

(Innovative Autonomous Haulage Vehicle) без водительской кабины. Машина имеет 4 колеса с полным приводом (а не 6, как у обычных самосвалов), грузоподъемность 250 т и двигатель мощностью 2700 л.с. Воздушные фильтры и радиаторы расположены на боку машины с возможностью простого и быстрого доступа.

Кроме этого, машина обладает всеми управляемыми колесами и возможностью движения вперед и назад с одинаковой скоростью. Если все колеса являются управляемыми, то радиусы поворотов становятся меньше, и не требуется дополнительного пространства для маневрирования. Если скорость движения вперед и назад одинакова, то требуется меньше разворотов, хотя разгрузка и возможна лишь с одной стороны. Все это позволяет существенно сократить время на постановку под погрузку и разгрузку, а также сократить площадь зон погрузки и разгрузки.

В машине используются общедоступные компоненты от различных производителей. Система управления трансмиссией – новинка, поскольку управление четырьмя мотор-колесами на сегодняшний день не реализовано стандартно ни в одном самосвале. Даже БелАЗ-75710, имея 4 мотор-колеса, управляется двумя поворотными мостами, у IAHV же 4 колеса имеют отдельное управление – и по повороту, и по вращению.

Производители уточняют, что это не законченный продукт, а часть системы. В будущем его можно будет приобрести в составе системы роботизированных грузоперевозок. В настоящее время машина находится на полигоне «Komatsu» рядом с Тусоном (США, Аризона), где проходит различные испытания.

Схожие разработки ведет БелАЗ: планируется закрыть или вообще убрать кабину водителя; это позволит загружать самосвал во всех направлениях [1, 4].

Ключевой компонент СРП – автоматизированная система диспетчеризации, которая осуществляет управление работой погрузочно-транспортного комплекса карьера и краткосрочное планирование его работы. Каждый из производителей использует «свою» диспетчерскую систему: «Komatsu» – систему «Dispatch» от принадлежащей ей фирмы «Modular Mining Systems» [6], «Caterpillar» – собственную систему «MineStar» [7], «Hitachi» – систему «Wencomine» от «Wenco International Mining Systems» [8].

Несмотря на то, что функционально роботизированные системы «Komatsu» и «Caterpillar» одинаковы, принцип их действия различен. В системе «Komatsu» (получившей название «FrontRunner») управление жестко централизовано. Центр управления наблюдает за каждой машиной в беспилотной зоне и управляет всеми самосвалами. Также центр управления осуществляет распределение самосвалов и построение маршрутов для них. Система отслеживает любые возможные взаимодействия беспилотной и пилотируемой техники.

Таблица 1. Внедрение роботизированных перевозок на действующих карьерах [9, 10]  
 Table 1. Implementation of the autonomous haulage at existing open-pit mines [9, 10]

Год	Компания	Карьер	Местоположение	Самосвалы
2007	Codelco	Gabriela Mistral (медная руда)	Чили, Антофагаста	Комatsu 930E (290 т) – 18 шт.
2008	Rio Tinto	West Angelas (железная руда)	Австралия, Пилбара	Комatsu 930E (290 т) – 15 шт.
2011	BHP Billiton	Navajo Mine (каменный уголь)	США, Нью-Мексико	Caterpillar 793F (227 т) – 3 шт. (тест)
2012	Rio Tinto	Yandicoogina (железная руда)	Австралия, Пилбара	Комatsu 930E (290 т) – 22 шт.
2012	Rio Tinto	Hope Downs 4 (железная руда)	Австралия, Пилбара	Комatsu 930E (290 т) – 19 шт.
2012	Fortescue Metals	Solomon (железная руда)	Австралия, Пилбара	Caterpillar 793F (227 т) – 54 шт.
2013	Rio Tinto	Nammuldi (железная руда)	Австралия, Пилбара	Комatsu 930E (290 т) – 30 шт.
2014	BHP Billiton	Jimblebar (железная руда)	Австралия, Пилбара	Caterpillar 793F (227 т) – 50 шт.
2017	Rio Tinto	Silvergrass (железная руда)	Австралия, Пилбара	Комatsu 930E (290 т) – 10 шт.
2017	Stanwell	Meandu (каменный уголь)	Австралия, Квинсленд	Hitachi EH5000 (296 т) – 3 шт. (тест)
2018	Fortescue Metals	Christmas Creek (железная руда)	Австралия, Пилбара	Caterpillar 789D (181 т) – 35 шт.
2018	Suncor Energy	North Steepbank (нефтеносные пески)	Канада, Альберта	Комatsu 930E, 980E – 20 шт.
2018	Barrick Gold	South Arturo (золото)	США, Невада	Комatsu 930E (290 т) – 5 шт.
2019	Fortescue Metals	Cloudbreak (железная руда)	Австралия, Пилбара	Caterpillar 789D (181 т) – 38 шт.
2019	Vale S.A.	Brucutu (железная руда)	Бразилия, Минас-Жерайс	Caterpillar 793F (227 т) – 13 шт.
2019	Brønnøy Kalk AS	Brønnøy Kalk (известняк)	Норвегия, Вельфьорд	Volvo FH16 (75 т) – 6 шт.
2019	ООО «СУЭК-Хакасия»	Разрез Черногорский (каменный уголь)	Россия, Хакасия	БелАЗ 7513R (130 т) – 2 шт. (тест)

В системе «Caterpillar» («Command for Hauling») основное управление сосредоточено в самосвале. Центру управления не обязательно контролировать каждую машину в беспилотной зоне; он выдает указания по распределению, 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 всегда оснащены и лидарами, и радары, в то время как самосвалы «Komatsu» используют только радары (в сочетании с обычными лазерными дальномерами для контроля края дороги). Самосвалы «Caterpillar» имеют на борту больше вычислительной мощности, но зато они менее зависимы от центра управления (и от сети связи); это позволяет несколько «разгрузить» центр управления и задействовать в карьере большее количество самосвалов.

Горнодобывающие предприятия, внедрившие роботизированные перевозки, приведены в таблице 1.

Как можно видеть из таблицы 1, основная масса автоматизированных карьеров сосредоточена в австралийском регионе Пилбара.

Пилбара – регион в Западной Австралии, знаменитый своими полезными ископаемыми и тяжелым климатом. Этому региону принадлежит мировой рекорд по продолжительности жары выше 100°F (37,8°C) – 160 дней. Здесь на территории в 502 000 км<sup>2</sup> живет около 60 000 человек, и 9000 из них заняты в добыче железной руды. Запасы руды таковы, что даже при самой интенсивной добыче ее должно хватить более чем на 50 лет.

Основной проблемой компаний, занятых добычей полезных ископаемых в Пилбаре, является недостаток квалифицированного персонала. Очень трудно найти людей, которые даже за большую

зарплату (средняя зарплата машинистов локомотивов составляет, например, 20 000 долларов за двухнедельную вахту) согласны работать в постоянном стрессе и жаре [11].

За годы экономических успехов горнодобывающей компанией «Rio Tinto» в Пилбаре были созданы предпосылки для внедрения цифровых решений, чтобы максимально исключить дорогую рабочую силу и убрать значительное число сотрудников из плохо переносимых условий работы. Как и в случае с Кремниевой долиной, цифровое будущее началось в 2008 году, когда «Rio Tinto», крупнейшая горнорудная компания региона и мира, рискнула несколькими миллионами долларов инвестиций при поддержке нескольких провидцев.

Сегодня «Rio Tinto» на своих австралийских рудниках использует около 100 беспилотных карьерных самосвалов (в основном «Komatsu»), которыми удаленно управляют операторы из центра в Перте, за 1200 км от места добычи.

По сведениям компании, в период между июлем 2014 года и июлем 2015 года производительность роботизированных предприятий по сравнению с обычными возросла на 13%. Использование беспилотных самосвалов по времени составило почти 90% (по сравнению с 80% для пилотируемых). В течение 2017 года каждый автономный самосвал, в среднем, работал на 700 часов дольше, чем пилотируемый, а эксплуатационные затраты на погрузочно-транспортное оборудование снизились на 15%.

По оценке финансовой компании «Credit Suisse», сделанной для «Rio Tinto», потенциальное снижение эксплуатационных затрат на роботизированных карьерах может составить 30%, из которых 17% – это затраты на техническое обслуживание (благодаря увеличению срока службы шин и улучшенному сбору данных о техническом состоянии машин) [9, 12]. Автором работы [5] установлено, что более размеренное движение беспилотных карьерных самосвалов позволит снизить расход топлива на 5-7%, а износ шин – на 7%.

Компания «Fortescue Metals Group», также работающая в Пилбаре, первоначально сообщала о 21-процентном увеличении производительности карьера «Solomon» (в 2017 году – 32%). Эта компания традиционно использует технику «Caterpillar» и на данный момент является лидером в плане автоматизации – общее количество беспилотных самосвалов на ее предприятиях приближается к 150.

Бразильская компания «Vale S.A.» ожидает, что внедрение роботизированных перевозок снизит расход топлива более чем на 10%. Затраты на техобслуживание снизятся на те же 10%, а износ шин – на 25%. Срок службы оборудования возрастет на 15%, что снизит капитальные расходы и вредные выбросы в атмосферу [9, 12].

Эти впечатляющие цифры больше нельзя игнорировать. На данный момент все говорит о том, что горнодобывающие компании, уже использующие технологию роботизированных перевозок, будут расширять свои беспилотные парки и далее; другие же компании должны начать задумываться об этом.

Россия пока находится в начале пути, российские предприятия пока ограничивались локальными проектами по удаленному управлению единицами техники. Это лишь первый уровень автоматизации, хотя есть прецеденты и более совершенных решений. В точечных решениях особого смысла нет, для получения высокой производительности должен внедряться сразу роботизированный участок, с подготовленной инфраструктурой, по возможности изолированный от дорог, где ездят обычные самосвалы. Технология пока не развита в силу ряда причин экономического и технического характера, а также особенностей государственного регулирования. На данный момент система не является распространенным продуктом по причине узкой специализации ее применения. Решение применяется в основном в странах с недостатком рабочей силы и ее высокой стоимостью.

Достижения и существенные результаты все чаще фиксируются за иностранными добывающими компаниями. Наибольшее распространение система получила в Австралии, так как там все эти факторы присутствуют. Здесь более высокие требования к проведению горных работ по сравнению с другими странами, что также делает систему преимущественным выбором для клиентов [1].

Впрочем, эта ситуация постепенно меняется. Еще в начале 2010-х годов компания «ВИСТ Групп» в партнерстве с ОАО «БелАЗ» начала разработку отечественной СРП «Интеллектуальный карьер» [13]. Однако начала полевых испытаний системы пришлось ждать почти 10 лет.

В августе 2019 г. на предприятии ООО «СУЭК-Хакасия» начались испытания отечественного комплекса роботизированных карьерных перевозок на базе карьерных самосвалов БелАЗ-7513R. Технология внедряется компанией «ВИСТ Групп», одним из лидеров в области цифровизации предприятий горной промышленности.

Два самосвала грузоподъемностью 130 т работали на разрезе «Черногорский» с экскаватором ЭКГ-8У. Беспилотные автомобили двигались по выделенному участку разреза протяженностью 1350 м и перевозили вскрышу. Была проведена оптимизация под конкретные геологические условия разреза, чтобы максимизировать эффективность цикла перевозки. По плану, эксплуатация роботов должна была перейти в круглосуточный режим, и этот цикл мог бы повторяться без необходимости непосредственного участия человека в процессе.

Одновременное движение сразу двух самосвалов на одном участке – самая технологически сложная часть проекта. Для реализации разезда двух автомобилей были созданы специальные алгоритмы, позволяющие выбрать оптимальную очередность движения самосвалов. Также на участке имеется пересечение с технологической дорогой общего пользования, для переезда которой был реализован алгоритм автоматизированного управления шлагбаумами и светофорами.

Ранее были проведены испытания, во время которых самосвал двигался без остановок 24 часа на испытательном полигоне ОАО «БелАЗ», совершив

500 технологических циклов. Беспилотный комплекс состоял из карьерного самосвала грузоподъемностью 130 т и фронтального погрузчика.

Самосвал двигался полностью автономно, подъезжал под погрузку, а потом задним ходом ехал на место разгрузки. Движение задним ходом – одна из важнейших частей испытаний, так как позволяет сократить время на разворот самосвала, а также уменьшает износ автомобиля и покрышек. Фронтальный погрузчик двигался также автономно, но для погрузки к нему подключался оператор, управлявший погрузкой дистанционно. Для этого «ВИСТ Групп» разработала рабочее место оператора, с которого можно дистанционно управлять техникой, находящейся на большом удалении, и одновременно подключаться к 5–10 объектам.

Основной ожидаемый эффект от использования роботизированной техники – это снижение затрат на ремонты, изменение параметров ведения горных работ (ширина зоны погрузки, дорог, изменение углов бортов карьера) [14].

Еще один проект компании «ВИСТ Групп» – испытания первого роботизированного участка в условиях реального производства в Марокко.

Тестовый участок протяженностью более 1 км включал в себя все основные зоны, в которых приходится работать карьерным самосвалам: паркинг, основные маршруты, зона погрузки, зона разгрузки, несколько альтернативных маршрутов, а также пункт заправки. На участке работал беспилотный самосвал «Terex» и пилотируемый погрузчик «Caterpillar». В диспетчерской был размещен управляющий сервер, а также рабочее место оператора. Для тестов систем сканирования окружения был изготовлен ряд искусственных препятствий. За время испытаний беспилотный самосвал в автономном режиме перевез более 5000 т фосфатов [1].

Итак, подобные инновационные проекты в теории должны давать дополнительную прибыль и уменьшать неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Однако имеющийся на данный момент опыт внедрения инновационных технологий в сфере горнодобывающего производства свидетельствует о том, что при их реализации возникают разнообразные проблемы.

1. Недостаток квалифицированных кадров для работы беспилотной техники. Во многих случаях при переходе с пилотируемой техники на беспилотную персонал приходится переучивать. Для решения данной проблемы необходимо предусмотреть разработку программы подготовки персонала, управляющего беспилотными карьерными самосвалами. В процессе обучения должны использоваться тренажеры-имитаторы, позволяющие повысить профессиональную подготовку, уменьшить расход топлива, повысить производительность труда, снизить вероятность возникновения рисков ситуаций, повысить безопасность проводимых работ.

Критики автоматизации утверждают, что ее внедрение приведет к сокращению числа рабочих мест. Им возражают, что, хотя некоторые специальности могут стать ненужными (в первую очередь те, которые связаны с выполнением тяжелой и/или

монотонной работы, либо работы в опасных и антисанитарных условиях), автоматизация приводит к созданию новых рабочих мест. Общественные организации, поддерживающие малообеспеченных рабочих, призывают горнодобывающие компании к социальной ответственности в условиях перехода к автоматизации, который приводит к сокращению рабочих мест в условиях снижения цен на сырье, но может повысить производительность.

2. Проблема совместимости оборудования. Новое оборудование, новая производственная система или узел зачастую не могут быть объединены при модернизации с остальной цепочкой по различным техническим причинам. Возникает ситуация, когда внедрение отдельной продуктовой инновации должно приводить к обновлению основной части всего производственного комплекса. В установившихся экономических условиях большинство предприятий не могут себе этого позволить: отказываются от преобразований вовсе или откладывают их до «лучших времен». К примеру, в России не производят необходимого для автоматизации горной техники оборудования, компоненты приходится закупать за рубежом. Да и в принципе таких производителей не так уж и много. Это создает различные препятствия перед создателями готовых систем; возникает вопрос – как совместить эти решения с реальным оборудованием.

3. Проблема «интероперабельности». Как показывает опыт зарубежных стран, основной проблемой внедрения СРП является невозможность совмещения на одном участке работ автоматизированной техники и техники, управляемой человеком.

С этим тесно связана проблема несовершенства связи (в основном Wi-Fi). Она заключается в том, что самосвалы перестают двигаться или работать, если они теряют связь с другими самосвалами, которые по сети сообщают друг другу свое местоположение, направление движения и скорость. В настоящее время самосвалы возобновляют свою работу после ручного визуального осмотра, который занимает время.

Кроме этого, подсистемы обнаружения объектов беспилотных самосвалов нередко срабатывают ложно, принимая за препятствия неровности дорог или небольшие куски породы. Опять же, для повторного запуска беспилотных самосвалов, как правило, требуется ручной осмотр.

4. Удорожание техники вследствие модернизации на 20–30% и большой срок окупаемости мероприятий. Существенные финансовые вложения во внедрение технологий, многие из которых до того могли существовать лишь в теории, как правило, не гарантируют сиюминутной выгоды. Поэтому крупные компании неохотно вкладывают деньги в непроверенные новые технологии, часто предпочитая использовать недорогую автоматизацию низкого уровня (дистанционное управление). Кроме того, любая компьютеризация влечет за собой программную уязвимость, угрозу взлома системы.

5. Соппротивление сотрудников предприятия. При внедрении корпоративных информационных систем во многих случаях возникает активное

сопротивление новшеству сотрудников на местах, которое является серьезным препятствием и вполне способно сорвать или существенно затянуть внедрение. Это вызвано «человеческим фактором»: страхом перед нововведениями, консерватизмом, опасением потерять работу или свою незаменимость, боязнью существенно увеличивающейся ответственности за свои действия. Руководители предприятий в таких случаях должны всячески содействовать ответственной группе специалистов, проводящей внедрение, вести разъяснительную работу с кадрами, и, кроме того, создать у сотрудников всех уровней твердое ощущение неизбежного внедрения, наделить руководителей проекта внедрения достаточными полномочиями, поскольку сопротивление иногда возникает даже на уровне топ-менеджеров.

Подытоживая, можно заключить, что внедрение роботизированных перевозок на карьерах никогда не должно быть самоцелью. Необходимо вначале понять существующие проблемы и определить путь их решения, который далеко не всегда лежит через автоматизацию. В настоящий момент на большинстве карьеров мира роботизированные перевозки не используются [2, 10, 12, 15].

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

Специалисты полагают, что горная добыча будет по-прежнему становиться более автономной, но будущее, скорее всего, будет связано с автоматическим распространением данных, которые самосвалы будут обрабатывать без участия человека. В ближайшее время будут внедрены такие технологии, как LTE для лучшего покрытия сети связи, использование беспилотных летательных аппаратов, камер дальнего радиуса действия или других автономных наземных транспортных средств для проведения ручного визуального осмотра.

Развитие будет продолжаться в ближайшие, вероятно, 20-30 лет. Горнодобывающие компании и производители горного оборудования многое могут взять из опыта автоматизации дорожных автомобилей. Очевидно, что на дорогах общего пользования больше машин, чем внедорожных самосвалов на карьерах. Таким образом, общие затраты на комплекты автоматизации снизятся, и появится возможность проводить операции в среде, в которой отсутствует спутниковая связь. Уже сейчас стоимость отдельных компонентов (таких как лидары, используемые системой «Caterpillar») снизилась вдвое с момента начала их использования около 10 лет назад. Твердотельные лидары, которые дешевле вращательных, уже внедряются в автомобильной промышленности.

Стоит обратить особое внимание на самосвалы без кабины водителя (такие как вышеупомянутый «Komatsu IAHV»). Вполне возможно, что в долгосрочной перспективе (через 20-30 лет) кабины станут дополнительным и дорогим вариантом для установки на большегрузный карьерный самосвал.

Можно уверенно говорить, что будущее горнодобывающей промышленности связано с

автоматизацией, которая, хотя и имеет свои недостатки, но явно более совершенна, чем нынешние технологии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучумова, А. Без человека в кабине // Добывающая промышленность. – 2019. – № 2. – С. 92–98.
2. Schmidt, D. For the long haul // Coal Age. – November 2014. – P. 26–29.
3. Brown, C. Autonomous vehicle technology in mining // Engineering & Mining Journal. – January 2012. – P. 30–32.
4. Fiscor, S. Komatsu debuts advanced autonomous systems // Engineering & Mining Journal. – November 2018. – P. 52–57.
5. 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.
6. Техническое описание систем «Modular Mining Systems». – Modular Mining Systems, 2013.
7. CAT® MINESTAR™ Fleet. – Caterpillar Inc., 2013.
8. Автоматизированные системы управления «Wenco» для карьеров. – Wenco International Mining Systems Ltd., 2015.
9. Golbasi, O. Equipment replacement analysis of manual trucks with autonomous truck technology in open pit mines / O. Golbasi, K. Dagdelen // APCOM 38. – Golden, CO : Colorado School of Mines. – 2017. – P. 19-9–19-20.
10. Report 2 - Autonomous mining equipment // New Technology & Innovation. – RFC Ambrian. – May 2019. – 36 p.
11. Соколов, И. А. Цифровая экономика Западной Австралии – умные горнорудные и нефтегазовые предприятия, железные дороги, морские порты и формализованные онтологии / И. А. Соколов, А. С. Мишарин, В. П. Куприяновский, О. Н. Покусаев, О. Н. Ларин // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Vol. 6, № 6. – С. 44-62.
12. Why the Pilbara leads the way in haul truck automation. – Режим доступа: <https://im-mining.com/2019/08/06/pilbara-leads-way-haul-truck-automation/> [10.09.2019]
13. Трубецкой, К. Н. Основы создания и этапы реализации роботизированных технологий открытых горных работ / К. Н. Трубецкой, Д. А. Клебанов, С. В. Ясюченя // Горный журнал. – 2013. – № 10. – С. 67–72.
14. ВИСТ Групп и СУЭК испытывают беспилотные БЕЛАЗы на разрезе в Хакасии. – Режим доступа: <https://vistgroup.ru/media/news/nid/vist-group-and-suek-are-unmanned-belaz-on-mine-in-khakassia/> [16.08.2019]
15. Аброськин, А. С. Проблема внедрения технологии «Интеллектуальный карьер» на горнодобывающих предприятиях РФ // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 10(93). – С. 121–123.

Artyom Yu. Voronov, C. Sc. in Engineering, Yuri E. Voronov, Dr. Sc. in Engineering, Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

## CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE AUTONOMOUS HAULAGE AT OPEN-PIT MINES

**Abstract:** *The urgency of the discussed issue. Remote-controlled autonomous (or unmanned) haulage systems have been used in open-pit mining for more than 10 years. The elimination of the "human factor" from the production process, as a rule, allows increasing its safety and productivity, as well as reducing operating costs. Despite the obvious advantages of unmanned technology, it is not spreading as fast as expected. This suggests that there are a number of problems that limit the development of this technology. Therefore, a review and analysis of the experience of using autonomous haulage systems at open-pit mines in order to identify possible directions for their further development seems to be an urgent task.*

*The main aim of the study is to review and analyze the experience of using the autonomous haulage systems at open-pit mines in order to identify some prospects for their improvement.*

*The methods used in the study. In this paper, the methods of theoretical and empirical knowledge are used: abstraction, comparison, analysis and synthesis.*

*The results. The prerequisites, a brief history and some important results of the implementation of autonomous haulage systems at open-pit mines, their main types and their constituent elements are outlined, as well as existing problems and expected directions for their development are highlighted.*

**Keywords:** open-pit mine; mining truck; automation; autonomous haulage; remote control

**Article info:** received December 12, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-16-24

### REFERENCES

1. Kuchumova A. Bez cheloveka v kabine [Without a man in the cab]. Extractive Industry. 2019. № 2. P. 92–98. (rus)

2. Schmidt D. For the long haul. Coal Age. November 2014. P. 26–29.

3. Brown C. Autonomous vehicle technology in mining. Engineering & Mining Journal. January 2012. P. 30–32.

4. Fiscor S. Komatsu debuts advanced autonomous systems. Engineering & Mining Journal. November 2018. P. 52–57.

5. 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.

6. Tekhnicheskoe opisanie sistem «Modular Mining Systems» [Technical description of Modular Mining systems]. Modular Mining Systems, 2013. (rus)

7. CAT® MINESTAR™ Fleet. Caterpillar Inc., 2013.

8. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija «Wenco» dlja karjerov [Wenco automated management systems for open-pit mines]. Wenco International Mining Systems Ltd., 2015. (rus)

9. Golbasi O. Equipment replacement analysis of manual trucks with autonomous truck technology in

open pit mines / O. Golbasi, K. Dagdelen // APCOM 38. Golden, COL : Colorado School of Mines. 2017. P. 19–9–19–20.

10. Report 2 - Autonomous mining equipment. New Technology & Innovation. RFC Ambrian. May 2019. 36 p.

11. Sokolov I. A. Tsifrovaja ekonomika Zapadnoj Avstralii – umnye gornorudnye i neftegazovye predprijatija, zheleznye dorogi, morskije porty i formalizovannye ontologii [The digital economy of Western Australia – smart mining, oil, gas enterprises, railways, seaports, and formalized ontologies] / I. A. Sokolov, A. S. Misharin, V. P. Kupriyanovsky, O. N. Pokusaev, O. N. Larin // International Journal of Open Information Technologies. 2018. Vol. 6, № 6. P. 44–62. (rus)

12. Why the Pilbara leads the way in haul truck automation. Access mode: <https://im-mining.com/2019/08/06/pilbara-leads-way-haul-truck-automation/> [10.09.2019]

13. Trubetskoy K. N. Osnovy sozdaniija i etapy realizatsii robotizirovannykh tekhnologij otkrytykh gornykh rabot [Basis of creation and stages of realization of robotized cargo transportation systems on operating mining enterprises] / K. N. Trubetskoy, D. A. Klebanov, S. V. Yasyuchenya // Mining Journal. 2013. № 10. P. 67–72. (rus)

14. VIST Grupp i SUEK ispytyvajut bezpilotnye BELAZy na razreze v Khakasii [VIST Group and SUEK test unmanned BELAZ trucks at the open-pit coal mine in Khakassia]. Access mode: <https://vistgroup.ru/media/news/nid/vist-group-and-suek-are-unmanned-belazon-mine-in-khakassia/> [16.08.2019] (rus)

**Библиографическое описание статьи**

Воронов А.Ю., Воронов Ю.Е. Современное состояние и перспективы развития роботизированных грузоперевозок на карьерах // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 6 (146). – С. 16-24.

15. Abroskin A. S. Problema vnedrenija tekhnologii "Intellektualnyj Karjer" na gornodobyvajushchikh predpriyatijakh RF [Problem of introducing "Intelligent Mine" technology at mining enterprises of the Russian Federation]. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2014. № 10(93). P. 121–123. (rus)

**Reference to article**

Voronov A.Yu., Voronov Yu.E. Current state and development prospects of the autonomous haulage at open-pit mines. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 6 (146), pp. 16-24.