

УДК 622.015:622.221

DOI 10.21661/r-560707

*Прокопьева В.М., Каймонов М.В.***ОБЗОР РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

***Аннотация:** роботизированная техника становится все более важной в горной промышленности. Рассматривается вопрос внедрения роботизированных систем и автоматизации в горном деле. Горное дело – это отрасль, в которой безопасность, эффективность и соблюдение экологических норм играют критическую роль. Внедрение роботизированных технологий в горное дело предоставляет множество преимуществ. Безопасность: роботы могут выполнять задачи в опасных и недоступных для человека местах, уменьшая риск производственных несчастных случаев. Эффективность: автоматизированные системы могут работать непрерывно, без необходимости перерывов, что повышает производительность. Снижение экологического воздействия: использование роботов позволяет сократить воздействие горнодобывающей деятельности на окружающую среду, так как они могут более точно контролировать расход ресурсов и выбросы. Сокращение затрат: роботизированная техника может снизить затраты на оплату труда и увеличить срок службы оборудования. Примеры применения: 1. Добыча и транспортировка: роботы используются для добычи и транспортировки руды и материалов без участия человека. 2. Мониторинг и контроль: автономные дроны и роботы могут выполнять мониторинг состояния горных выработок и инфраструктуры. 3. Оценка безопасности: роботы могут проводить оценку безопасности горных выработок и выявлять потенциальные угрозы. Роботизированная техника играет ключевую роль в усовершенствовании горного дела. Она способствует повышению безопасности, эффективности и экологической устойчивости этой отрасли, что делает ее важной частью будущего горной промышленности.*

***Ключевые слова:** горное дело, роботизированная техника, автоматизированные самосвалы, система управления, безопасность.*

Введение.

Современные условия выдвигают новые требования к участию человека в технологических процессах освоения месторождений полезных ископаемых (добычи, транспортировки, обогащению и др.). Объективные трудности в подборе квалифицированного персонала готового проживать и работать в необжитых и труднодоступных местах, а также экстремально низкие или наоборот, высокие, температуры климата, логистика и многое другое усложняют работу техники и безопасность работ. В таких условиях может улучшить условия добычи полезных ископаемых подобный проект, например, как «Умный карьер», т. е. создание системы роботизированной работы карьерной техники, обеспечивающих высокую степень автоматизации, при которой участие человеческого фактора сведено к минимуму.

Целью данной статьи является обзор роботизированной горнопромышленной техники, такой как беспилотные самосвалы Камаз-6959, Scania, Komatsu, Caterpillar и др. В разных странах мира на разных континентах (Австралия, Чили, Россия, Китай, ЮАР, Канада, США и др.) такая техника решает сразу несколько производственных задач, снижает производственный травматизм и несчастные случаи, профессиональные заболевания, способствует повышению экономической выгоды, позволяет вовлекать в оборот низкорентабельные месторождения и т. д., и т. п.

Пионером на рынке беспилотной тяжёлой техники считается американский Caterpillar. Больше 20 лет назад компания представила первый самоходный карьерный самосвал. А недавно в одном из своих пресс-релизов производитель заявил, что «автономные карьерные машины – это больше не эксперимент, а обыденность».

Автономные ПДМ Sandvik.

В 2018 г. Sandvik показали, что погрузочно-доставочные машины и самосвалы их производства наработали в общей сложности уже более 2 млн часов без единого происшествия с участием работников предприятий.

Основные требования: автономная горная техника должна уметь быстро и беспрепятственно передвигаться в сложных условиях подземных выработок, что и продемонстрировал новый самоходный погрузчик LH 514 грузоподъемностью 38 т.

Погрузчику удалось преодолеть весь лабиринт подземных горных выработок, не задев ни одного элемента, как при включенном, так и при выключенном освещении. Свой путь машина определяет на основе информации, поступающей одновременно с лазерных датчиков, сенсоров, гироскопов, и позволяет погрузчику функционировать даже в тех местах рудника, где не работает система GPS.

Автономные самосвалы «БелАЗ».

В 2018 году с конвейера завода «БелАЗ» сошли первые самосвалы с опцией беспилотника, разработанные совместными силами компаний «ВИСТ Групп» и «БелАЗ». Первые внедрения уже происходят на карьерах в Хакасии. Испытания техники проводили на полигоне завода «БелАЗ» в городе Жодино. Беспилотный комплекс состоял из карьерного самосвала грузоподъемностью 130 тонн и фронтального погрузчика. Самосвал движется полностью автономно, подъезжает под погрузку, а потом задом едет на место разгрузки.

Движение задом – одна из важных частей испытаний, так как позволяет сократить время на разворот самосвала, а также уменьшает износ автомобиля и, главное, покрышек.

В данном случае самосвал может двигаться как челнок. Фронтальный погрузчик движется тоже автономно, но для погрузки к нему подключается оператор, управляющий погрузкой дистанционно.

Для этого «ВИСТ Групп» разработала РМО (рабочее место оператора), с него можно дистанционно управлять техникой, находящейся на большом удалении, и одновременно подключаться к 5–10 объектам.

Горные предприятия Австралии – лидеры по технологическому развитию.

Горные предприятия в странах Австралии (Австралия, Новая Гвинея, Новая Зеландия и др.) по итогам 2019 г. продемонстрировали наивысший уровень технологического развития среди горнодобывающих предприятий мира.

За последние три года горнодобывающие предприятия из рассматриваемого региона вдвое увеличили инвестиции в БПЛА. Опрос показал, что 63% горно-промышленных предприятий в Австралии готовы инвестировать во внедрение специализированных коммуникационных систем (37% в Азии и 44% в Европе и Ближнем Востоке), в БПЛА – 56% (34% в Азии).

Подземные самоходные машины с системами видеорегистрации на Ирокинде.

Рудник Ирокинда (Республика Бурятия) в 2020 г. оборудовал подземные самоходные машины системами видеорегистрации. Это позволило улучшить контроль и безопасность работы подземной техники в шахте. В рамках программы повышения производственной безопасности и охраны труда видеорегистраторы были установлены на 14 единицах подземной горной техники. Монтаж систем осуществлялся с участием специалистов инжиниринговой компании «Снабрем-сервис» (компания ведёт работы в этой сфере с 2014 г.).

КамАЗ успешно испытал беспилотные грузовики в Арктике.

В 2020 г. беспилотные грузовики КамАЗа успешно преодолели две с половиной тысячи километров на Восточно-Мессояхском месторождении в Ямало-Ненецком автономном округе, говорится в сообщении компании.

Испытания прошли в рамках совместного проекта «Газпром нефти» и КамАЗа. Провести их позволили поправки, упрощающие допуск высокоавтоматизированных транспортных средств на дороги общего пользования и расширяющие географию эксперимента по их тестированию.

Целью испытаний было подтвердить потенциальную эффективность беспилотных грузовиков. В результате машины без водителей продемонстрировали, что могут передвигаться по заданным маршрутам с высокой точностью, обмениваться информацией через дублируемые системы связи, распознавать препятствия и прогнозировать траекторию движения с учетом актуальной дорожной обстановки. Контроль за грузовиками велся из центра управления на Восточно-Мессояхском месторождении.

Komatsu: объёмы автономной транспортировки достигли 4-ех млрд тонн.

Объёмы материала, перевезенного на горной технике Komatsu, оборудованной системой автономной транспортировки (англ. AutonomousHaulageSystem, AHS), превысили 4 млрд тонн в 2021 г.

Первая система автономной транспортировки Komatsu промышленного назначения DISPATCH FleetManagementSystem была внедрена в 2008 г. На горных самосвалах чилийского медедобывающего предприятия GabrielaMistral (компании CODELCO).

Современное поколение системы AHS, FrontRunner, используется на 13 предприятиях по добыче меди, железной руды, нефтеносных песков, расположенных на трех континентах. На сентябрь 2021 г. Она установлена в общей сложности на 400 горных самосвалах.

Добавим, что отметка в 1 млрд тонн была достигнута Komatsu в 2016 г., 1.5 млрд т – в конце 2017 г., 2 млрд тонн – осенью 2018 г., 3 млрд тонн – в августе 2020 г.



Рис. 1. Komatsu: объёмы перевозок системой автономной транспортировки с 2016 г. по 2020 г.

Концепт роботизированного самосвала от Scania.



Рис. 2. Беспилотный самосвал Scania

В 2019 г. Scania представила беспилотный карьерный самосвал без кабины. Концепт роботизированного самосвала AXL, который показала шведская компания Scania, демонстрирует фундаментальное изменение в эволюции транспорта. Без кабины на кузов остается намного больше места. Также ясно, что такой грузовик будет намного дешевле в производстве, чем беспилотник с кабиной (нет необходимости в системе управления и обеспечения комфорта и безопасности водителя).

Новый карьерный самосвал «Камаз».

В 2022 г. конструкторы научного-технического центра ПАО «Камаз» разработали уникальный самосвал КАМАЗ-6559, предназначенный для карьерных работ в автономном режиме.

Автомобиль, созданный совместно со специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках проекта «Создание семейства электромеханических беспилотных автомобилей-самосвалов большой грузоподъемности в интересах добывающих отраслей промышленности РФ», стал продолжением камазовской линейки карьерных самосвалов. Беспилотный КАМАЗ-6559, получивший имя «Юпитер 30», создан для перевозки разрыхленной горной массы или руды по безлюдной технологии – без присутствия людей в опасной зоне работы большегрузных машин и экскаваторов. В связи с этой особенностью в конструкции автомобиля отсутствует кабина для водителя.



Рис. 3. Автономный карьерный самосвал Камаз-6559

«Юпитер» изначально проектировался как автономное транспортное средство для работы в карьере. Он оснащен всей необходимой аппаратурой. В нем установлены специальные, защищенные от пыли, грязи, влаги и вибраций, видеокамеры, 2D- и 3D-лидары, ультразвуковые датчики, радары. Также имеются GSM-антенны и GPS/ГЛОНАСС-навигация. Оба моста у него поворотные, за счет чего автомобиль обладает хорошей маневренностью», – рассказал главный конструктор инновационных автомобилей Научно-технического центра ПАО «КАМАЗ» Сергей Назаренко.

Автономная горная техника в Китае.

В Китае 2019 г. был запущен крупнейший автономный горный самосвал марки NorthHauler NTE грузоподъемностью 170 т. Система автоматизации была разработана BaotouSteelGroup.

На сегодняшний день в Баян-Обо (Внутренняя Монголия) работает в общей сложности четыре автономных самосвала.

Самосвалы оборудованы современными радарными и коммуникационными технологиями, обладают функциями дистанционного контроля, точной парковки, предупреждения столкновений. Техника работает в 5G – сети.

На предприятии в Чили запущена система автономной транспортировки.

В 2020 г. в Чили состоялась церемония запуска системы автономной транспортировки горной массы. В проект было вложено в общей сложности около 60 млн долларов, обучено около ста специалистов.

В ходе реализации проекта на участке был создан центр обучения, построены телекоммуникационная сеть и центр, из которого будет осуществляться контроль за работой одиннадцати самосвалов Komatsu 980E-5 и двух буровых станков Epiroc PV352, планирование и координация работ.

Система автоматизации и дистанционного контроля подземного бурения

В 2020 г. золотомедном руднике ProminentHill в южной Австралии начались испытания проходческих буровых станков с дистанционным управлением.

Фирма – подрядчик BurnecutAustralia при выполнении горных работ укомплектовали шахтные гидравлические буровые станки для проходческих работ DD422i от Sandvik новой системой автоматизации и дистанционного контроля с поверхности.

Решение в течение месяца пробурило в режиме автономной работы и дистанционного управления 60–70 скважин.

Роботизированная система закладки взрывчатых веществ

На шведском подземном руднике в 2020 г. по добыче цинка Garpenberg, принадлежащем компании Boliden, прошли успешные испытания новой роботизированной системы.

Система предназначена для автоматического поиска скважин и закладки в них взрывчатых веществ и детонаторов. Непосредственное участие человека в процессе не предусмотрено, что обеспечивает безопасность и эффективность работ.



Рис. 4. Роботизированная система закладки ВВ: автоматический поиск скважин.



Рис. 5. Роботизированная система закладки ВВ: закладка ВВ.

Добывающие компании и роботизация.

Канада: 2017 г ВНР Billiton, крупнейшая в мире добывающая компания, также осваивает беспилотные грузовики на железных шахтах в Австралии. Лидирующий канадский нефтедобытчик SuncorEnergy испытывает аналогичное оборудование на песчаных полях Альберты. Испытания самосвалов-роботов начались в Канаде еще в 2013 году, в 2015 году был подписан контракт на закупку 175 роботизированных самосвалов Komatsu для SuncorEnergy.

Австралия: шахты концерна Rio Tinto: Добывающий австралийско-британский концерн Rio Tinto использует 73 автономизированных грузовика Komatsu для перевозки железной руды с четырех австралийских шахт – автономные устройства трудятся 24 часа 7 дней в неделю. Грузовики получают сырье с роботизированных буровых установок и отвозят их к поездам. Локомотивы в 2017 году также дорабатывают – в ближайшее время их «научили» перевозить сырье к порту полностью

автономно. Роботы возьмут на себя управление, а также процессы погрузки и разгрузки. Автоматизация сулит сокращение издержек.

США: 2019 г Компания Komatsu завершила годовые испытания системы автономных перевозок на испытательном полигоне в Тусоне, Аризона, США. По состоянию на 2017.02 автономные самосвалы разработали и в Caterpillar – американские машины успешно применяет, например, добывающая компания FortescueMetalsGroup.

Россия: 2020 г впервые в России на подземном руднике Норникеля начал движение беспилотный подземный самосвал. 2021 г. Система подземной автоматизации SandvikAutoMine доступна на рынке с 2004 года, когда ее впервые установили на подземном медном руднике CodelcoElTeniente в Чили, где в районе PiraNorte была реализована полуавтономная загрузка. За прошедшие с тех пор 15 лет более 65 горнодобывающих компаний по всему миру перешли на использование AutoMine для повышения производительности и безопасности горных работ, как с грузовиками, так и с туннельными погрузчиками LHD. И вот, наконец, первая система AutoMine появилась в России. Передовиком стал никель-медный рудник Скалистый, входящий в ГКМ Норильскийникель.

Примером автоматизации второго уровня может быть рудник «Удачный» (Алроса). На выработке работает ПДМ, а оператор управляет ею на специальной площадке. Наиболее продвинутым в области автоматизации горного предприятия в мировом масштабе считается австралийско-британский концерн Rio-Tinto, представляющий третий уровень автоматизации. Оборудование снабжено датчиками, работает в соответствии с алгоритмом и программами, а операторы контролируют его работу, находясь на несколько километров. Автономные самосвалы самостоятельно загружаются, транспортируют горную массу в нужное место и также самостоятельно разгружаются.

Дальнейшее развитие автоматизации производства в проекте RioTinto «Рудник будущего» направлено на то, чтобы роботы самостоятельно вели взрывные работы, бурили шахты, добывали и сортировали руду, отделяя пустую породу.

Выводы.

Роботизация техники в горном деле имеет потенциал стать ключевым фактором в его развитии и совершенствовании. Выводы о важности этого процесса могут быть сформулированы следующим образом.

1. *Увеличение безопасности:* Одним из основных преимуществ роботизации техники в горном деле является снижение риска для работников. Роботы могут выполнять задачи в опасных и непригодных для человека условиях, что уменьшает вероятность производственных несчастных случаев.

2. *Повышение производительности:* Роботизированная техника обычно работает более эффективно и точно, чем человеческий труд. Это позволяет увеличить объемы добычи полезных ископаемых и снизить затраты на производство.

3. *Экономическая эффективность:* Роботизация может снизить операционные расходы компаний в горной индустрии. Эффективное управление производством и сокращение времени простоя оборудования способствует экономии ресурсов.

4. *Снижение экологического воздействия:* Роботизированная техника может быть более точной и чистой в работе, что позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду. Уменьшение выбросов и меньшее воздействие на ландшафт могут улучшить экологическую устойчивость горной деятельности.

В целом, роботизация техники в горном деле может привести к более эффективной, безопасной и экологически устойчивой деятельности, что является важным шагом в развитии этой отрасли.

Список литературы

1. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых / М.Л. Хазин // Вестник МГПУ им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 18. №1. – С. 4–15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/robotizirovannaya-tehnika-dlya-dobychi-poleznyh-iskopaemyh> (дата обращения: 22.05.23).

2. Роботизация в горнодобывающей промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prezi.com/p/mm8fblhy3nod/presentation/> (дата обращения: 22.05.2023).

3. Система анализа кернов компании «BortLongyear» // Золотодобыча. – 2018. – №1. – С. 80.
4. Геологическое картографирование в цифровом мире // Золотодобыча. – 2019. – №3. – С. 44.
5. Машинное обучение и искусственный интеллект в геологии // Золотодобыча. – 2020. – №4. – С. 53.
6. Дистанционное зондирование в разведке // Золотодобыча. – 2018. – №4. – С. 37.
7. Роботизированная платформа дистанционного визуального осмотра // Золотодобыча. – 2019. – №2. – С. 72.
8. Подводный аппарат для изучения хвостов в Индонезии // Золотодобыча. – 2020. – №4. – С. 69.
9. Концепт роботизированного самосвала от Scania // Золотодобыча. – 2019. – №9. – С. 69.
10. Автономная горная техника в Китае // Золотодобыча. – 2019. – №11. – С. 69.
11. Автономная система транспортировки в Чили // Золотодобыча. – 2023. – №1. – С. 74.
12. Автономные горные самосвалы на золотодобывающем руднике в Австралии // Золотодобыча. – 2021. – №10. – С. 71.
13. Новый карьерный самосвал «Камаз» // Золотодобыча. – 2022. – №7. – С. 85.
14. Камаз успешно испытал беспилотные грузовики в Арктике // Золотодобыча. – 2020. – №4. – С. 70.
15. Komatsu. Объемы автономной транспортировки достигли 4 млрд тонн // Золотодобыча. – 2021. – №9. – С. 71.
16. Система автоматизации и дистанционного контроля подземного бурения // Золотодобыча. – 2020. – №5. – С. 71.
17. Роботизированная система закладки взрывчатых веществ // Золотодобыча. – 2020. – №5. – С. 71.

18. Автоматическая подземная добыча [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/10558> (дата обращения: 22.05.2023).

19. Карьер «Юбилейный» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alrosa.ru/press-center/news/2023/alrosa-razvorachivaet-vydelennuyu-set-lte-na-karere-yubileynyy/> (дата обращения: 22.05.23).

20. Охрана окружающей среды в горном деле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/o/oxrana-okruzhayuschej-sredy/> (дата обращения: 22.05.2023).

21. Беспилотники в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geomir.ru/publikatsii/bespilotniki-v-selskom-khozyaystve/> (дата обращения: 22.05.2023).

Прокопьева Вера Михайловна – студентка, Горный институт ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, Якутск.

Каймонов Михаил Васильевич – старший научный сотрудник, «ЯНЦ СО РАН», Россия, Якутск.
