

УДК 622.23.05

Дубинкин Дмитрий Михайлович, к.т.н., доцент
Максимова Ольга Сергеевна, аспирант (КузГТУ, г. Кемерово)
Dubinkin Dmitry Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Maksimova Olga Sergeevna, graduate student (KuzSTU, Kemerovo)

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ
И РОБОТИЗАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕДР
ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ**

**THE CURRENT STATE OF DIGITALIZATION AND ROBOTIZATION
IN OPEN-PIT MINING**

Аннотация: В статье описано современное состояние цифровизации и роботизации при открытой горной добыче. Изучена история создания роботизированных систем в мире. Проанализированы экономические предпосылки для создания и реализации автономных систем в России.

Abstract: The article describes the current state of digitalization and robotization in open-pit mining. The history of the creation of robotic systems in the world has been studied. The economic prerequisites for the creation and implementation of autonomous systems in Russia are analyzed.

Угольная промышленность, обладая значительными разведанными и прогнозными запасами угля, имеет все возможности для эффективного их извлечения и использования в целях стабильного обеспечения внутренних потребностей в угольной продукции и развития экспортных поставок. Последние 10 лет стали этапом стабильного развития, который совпал с восстановительным ростом экономики страны. За этот период объем добычи российского угля вырос более чем в 1,3 раза [6]. По данным ЦДУ ТЭК (рис. 1), в 2021 году добыто 438,4 млн. т угля.

В ряде регионов произошло увеличение добычи угля к прошлому году. Снижение добычи угля отмечено Северо-Западном федеральном округе, прекращение добычи отмечено в Центральном федеральном округе. Сибирский федеральный округ вносит основной вклад в добычу угля Российской Федерации, а именно 76,3 % от общего объема добычи угля.

Наша промышленность развивает свои показатели. Тем не менее, на мировом рынке Россия недостаточно конкурентоспособна. Одним из самых значимых факторов столь низких ежемесячных показателей производительности труда в России по сравнению с другими странами, а именно по разрезам Северной Америки почти в пять раз, Австралии – более, чем в два раза,

является нерентабельность инвестиций в автоматизацию процессов. Это естественно связано с большой стоимостью нужного оборудования. Следовательно, мы можем наблюдать отставание отрасли по масштабному внедрению как роботизации, так и автоматизации в целом. Необходимы дальнейшие исследования 3D технологий в процессах проектирования, моделирования месторождений, а также планирования развития геологоразведочных и горных работ [3]. Исходя из выше сказанного следует, что важен анализ современного состояния цифровизации и роботизации при разработке недр открытым способом как в России, так и в мире в целом.

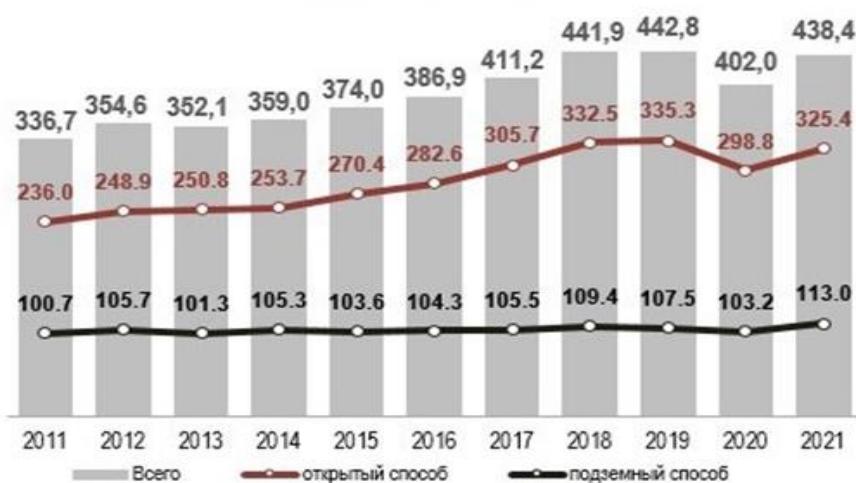


Рис. 1 – Гистограмма - добыча угля, млн. т

Добычу природных ресурсов невозможно начать без положительных результатов геологоразведки, затем начинается этап подготовки. Далее следуют вскрышные работы, затем проводится непосредственная добыча полезных ископаемых, которые изымают из недр и транспортируют до обогатительных фабрик и складов. Также производят мероприятия по нивелированию негативных последствий для запуска регенерации почвы и экологического фона.

Компании, занимающиеся горнодобывающей промышленностью, имеют очень большие затраты, связанные с эксплуатационными расходами. Примерно 50-60% таких затрат на горных предприятиях связаны как с погрузкой-разгрузкой, так и транспортированием горной массы [1, 2]. Планирование, организация процесса, реализация процесса и контроль-важные элементы технологического процесса. Необходим контроль времени выполнения всех операций при перевозке горной массы, количество рейсов, вес перевозимого груза, уровень топлива в баке, качество вождения автосамосвалом и другие эксплуатационные показатели работы карьерных самосвалов (рис. 2).

Для качественного контроля транспортирования породы и полезных ископаемых необходима системная цифровизация горного оборудования.

Цифровизация – это оптимизация процессов с целью их приспособления к условиям электронной экономики, преобразование процессов предприятия с применением современных инновационных технологий [10, 12-14]. Сущность цифровизации – повышения эффективности и качества бизнес-процессов так, чтобы большинство операций можно было производить автоматически, без участия человека.



Рисунок 2 – Процесс погрузки горной массы

Цифровая трансформация – более глубокий и комплексный процесс, который обычно становится продолжением цифровизации. Это создание модели с обновлением, которая может соответствовать времени, быть адаптивной и эффективно работать в современном мире. Роботизация, как основная составляющая комплексной автоматизации производства. На практике этот процесс заключается во внедрении роботов и роботизированных систем в организациях в промышленном масштабе.

Рассмотрим процессы цифровой трансформации и роботизации предприятий по добыче полезных ископаемых.

Работа с автономным горным оборудованием начиналась еще с 1990-х гг., но понадобилось время, чтобы от идеи перейти к практике. В нашей стране процесс автоматизации начался в момент установки первого цифрового датчика на горное оборудование [4]. Один из самых значимых этапов цифровой трансформации мы можем связать с применением ГИС-технологий и навигационных систем в горной промышленности. На горных предприятиях применялись системы диспетчеризации, системы геологического моделирования и планирования горных работ. Постепенно развиваясь, цифровизация была задействована в огромном круге задач, как на уровне отдельного горного оборудования, так и работы предприятия в целом. Каждый из этапов цифровой трансформации был связан с ростом эффективности и промышленной безопасности. На предприятиях стали применять беспроводные системы передачи информации, развертывали высокоточные

навигационные комплексы, внедряли системы управления горнотранспортными комплексами, системы планирования горных работ, системы позиционирования персонала и прочее. Стоит заметить, что без этих этапов внедрить роботизированную технику невозможно, так как важен весь опыт использования цифровой трансформации.

Сейчас многие компании занимаются разработками и испытаниями роботизированной техники. Ведущее место в испытании автономных карьерных самосвалов занимают «БЕЛАЗ», Komatsu, Caterpillar и «КАМАЗ»

В 2010 г. компания ОАО «БЕЛАЗ» вместе с компанией ОАО «ВИСТ Групп», разработали дистанционно управляемый карьерный самосвал БЕЛАЗ грузоподъемностью 130 т и с электроприводом постоянного тока [9]. Благодаря этим разработкам в 2018 г. изготовили автономный карьерный самосвал БЕЛАЗ-7513R (рис. 3 и рис. 4).



Рисунок 3 – Роботизированный карьерный самосвал БЕЛАЗ-7513R

В 2013 г. компания Caterpillar начала эксплуатацию своих первых шести роботизированных самосвалов, с прошествием времени парк беспилотных машин существенно вырос. Эта техника показала значительную разницу в эффективности использования по сравнению с традиционными машинами, по причине того, что беспилотная техника не простоявала и работала в среднем на 2,5 часа больше, чем управляемые операторами.

В 2005 г. на медном руднике Codelco корпорация Komatsu проводила испытания беспилотных транспортных систем (Autonomous Haulage System – AHS), коммерческую деятельность компания начала после 2008 г. К 2018 г. беспилотная техника Komatsu перевезла более 2 млрд т вскрышной массы.

В 2018 г. роботизированные электрические самосвалы-троллейвозы HX2 начали свое испытание компанией Volvo Construction Equipment в рамках проекта Electric Site – полностью автономный процесс разработки карьера. Беспилотные самосвалы Volvo FH (6 единиц) перевозили известняк компании Brønnøy Kalk AS на участке плечом в 5 км, включающем тоннели в близлежащий порт. Затем компания приняла решение перейти в коммерческую.



Рисунок 4 – Место работы оператора (дистанционное управление карьерным самосвалом БЕЛАЗ-7513R)

Свой беспилотный самосвал грузоподъемностью 110 т показал Китай в начале 2019 г. Он рассчитан на круглосуточную работу. Тестирование своих решений компания Inner Mongolia North Heavy Industries Group Co., Ltd. провела в Объединенных Арабских Эмиратах.

Компании VIST Robotics, Cognitive technologies и ОАО «КАМАЗ» в 2018 году разработали роботизированный тягач «КАМАЗ 5350», в данный момент проводятся разработки автономного «КАМАЗа» на базе тягача Neo 5490. Ожидается, что в работе отечественный «продукт» появится к 2025–2027 гг.

По опыту корпорации Rio Tinto можем сделать вывод, что эксплуатация роботизированной техники может быть полностью безопасной, т.к. за время работы самосвалов не было зафиксировано ни одной травмы. В 2015 г. парк таких самосвалов составлял 69 единиц. Компания Vale ставит себе в план перевод рудника Brucatu на полное использование только лишь автономных самосвалов.

В 2019 году США и Япония наладили массовый выпуск беспилотных самосвалов. Также этим занимаются компании БЕЛАЗ и Китайская корпорация Mongolia North Heavy Industries Group Co., Ltd. Ведутся эксперименты беспилотного электросамосвала Volvo. КАМАЗ также экспериментирует с техникой без оператора за штурвалом. В конце июня 2022 года «КАМАЗ» представил беспилотный карьерный самосвал, получивший индекс «КАМАЗ-6559» и имя «Юпитер 30».

В 2021 г. на рынок поставлено 134 автономных карьерных самосвала – 88 ед. Caterpillar (в Австралию, Бразилию, Чили и Перу) и 46 ед. Komatsu (в Австралию, Бразилию, Чили и Канаду) [11]. В целом за последние 10 лет география поставок роботизированных карьерных самосвалов насчитывает 9 стран. Также, как и по дизель-троллейвозам, доминирующим здесь является класс г/п 218–255 т, который занимает половину рынка. Лидер на рынке автономных самосвалов – Caterpillar с долей в 55,4%.

В настоящее время проводятся эксперименты с автономными экскаваторами. В Китае начал работу первый гидравлический экскаватор-«беспилотник» от компании XCMG. XE950DA работает в карьере, в нём применяются технологии 5G, МЕС и дистанционного управления. Китайский производитель оборудования Zoomlion выпустил первые экскаваторы на своем новом интеллектуальном производственном предприятии в Чанше, провинция Хунань [12]. Первый экскаватор сошел с конвейера 31 декабря 2020 года в производственном парке интеллектуальных экскаваторов в Zoomlion Smart Industrial City.

Также Komatsu вместе с компанией Skycatch выпустил в свет новые строительные машины, не требующие для работы оператора в кабине. На данный момент это технология полуавтоматического управления техникой. И в ближайшем будущем эти машины станут полностью автономными.

Специалисты компании Yanmar заканчивают работу над проектом полностью беспилотного экскаватора, управление которым будет совершаться дистанционно.

Автоматизированное и интегрированное решение для управления Concept-X было представлено компанией Doosan Infracore для строительства, разработки карьеров и горнодобывающих предприятий. Возможности безграничны: повышенная безопасность, производительность, точность и качество". Конструкция экскаватора Concept-X характеризуется отсутствием кабины для оператора и четырьмя разделенными непрерывными гусеницами, составляющими нижнюю часть машины. Из выше сказанного мы можем увидеть, что технологии движутся вперед. В машиностроении смесь техники и реальности, смоделированной компьютером, достаточно важный этап развития. Он может дать новые возможности в работе с экскаваторами, а также мини-экскаваторами.

Обзор текущего состояния в мире показывает, что использование автономной техники приобретает промышленные масштабы и развивается стремительными темпами [5, 7, 8], поэтому есть потребность в создании и реализации высокотехнологичного производства автономной техники в России, что показывает актуальность этого исследования.

Автономная техника имеет следующие преимущества:

- работает точнее и круглосуточно без влияния человеческого фактора;
- дает возможность уменьшить ширину проезжей части, экономит на повышении угла подъема и на площадке для разворота и др.;
- повышает производительность;
- уменьшает расход топлива;
- снижает уровень износа шин и сокращает расход на техническое обслуживание;
- исключает человеческий фактор и снижает количество несчастных случаев, повышает безопасность и др.

Однако при внедрении автоматизации такого уровня компании могут столкнуться с рядом существенных проблем:

- обучение персонала;
- адаптация горнотехнологического процесса к автоматизации (например, качество и содержание дорог);
- юридическая сторона вопроса, законодательная система не совершенна, это не дает эксплуатировать автономную технику в определенных условиях и др.

Из аналитического обзора мы можем увидеть, что весь мир стремится к снижению себестоимости разработки недр открытым способом. Между горнодобывающими компаниями существует сильная конкуренция, повышается интенсивность добычи полезных ископаемых, ухудшаются условия для работы технологического транспорта, также увеличиваются требования к экологии и охране труда. Все это толкает на оптимизацию процессов разработки месторождений, что невозможно без цифровизации и роботизации. А значит горнодобывающие компании все активнее внедряют роботизированную технику, заменяя ею использование человеческого труда.

Поэтому развитие, инвестирование и исследования роботизации и цифровизации в нашей стране один из наиболее важных вопросов в экономике России, чтобы поддерживать конкурентоспособность горной промышленности в мире.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» 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.

Список литературы

1. Алари, С. Обзор стратегий решения, используемых в системах диспетчеризации грузовиков для открытых карьеров / С. Алари, М. Гамаш // Международный журнал открытых горных работ, мелиорации и окружающей среды. – 2002. – № 16(1). – С. 59-76.
2. Карри, Дж.А. Эксплуатационные расходы шахты и потенциальное воздействие энергии и измельчения / Дж.А. Карри, М.Дж.Л. Мэй, Г.Дж. Джеймсон // Minerals Engineering. – 2014. – № 56. – С. 70-80.

3. Клебанов, Д. А. Разработка технико-технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах : специальность 25.00.22 "Геотехнология (подземная, открытая и строительная)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Клебанов Дмитрий Алексеевич. – Москва, 2015. – 15 с. – EDN ZPVFNP.
4. Будущее безлюдных технологий на открытых горных работах // Горная промышленность. – 2020. – № 3. – С. 32-36. – EDN TKZQLW.
5. Клебанов, Д. А. Применение автономной и дистанционно-управляемой техники на открытых горных работах / Д. А. Клебанов, М. А. Макеев, Д. Н. Сиземов // Горная промышленность. – 2020. – № 6. – С. 14-18. – DOI 10.30686/1609-9192-2020-6-14-18. – EDN AYTZPU.
6. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года.
7. Дубинкин, Д. М. Перспективы высокотехнологичного производства карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, Н. Н. Голофастова // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2022. – № 5. – С. 180-184. – EDN BJTWOD.
8. Дубинкин, Д. М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 2(160). – С. 39-50. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50. – EDN ZUKXMF.
9. Хазин, М. Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых / М. Л. Хазин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 18. – № 1. – С. 4-15. – DOI 10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15. – EDN UWQCYI.
10. Сайт компании «Parker Bay» – URL: <https://parkerbaymining.com>
11. Издательство «Route One Publishing» – URL: <https://www.aggbusiness.com/ab1/news/first-zoomlion-excavators-roll-intelligent-assembly-line>
12. Нгуен Т.Х. Анализ автономных роботизированных машин горного производства с автономными системами электродвижения / Т.Х. Нгуен, Б.Ю. Васильев // Горное оборудование и электромеханика. - 2022. - №5. - С. 59-69.
13. Системы управления автономного карьерного самосвала / И. С. Сыркин, Д. М. Дубинкин, И. Ф. Юнусов, А. Е. Ушаков // Россия молодая : Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 19–21 апреля 2022 года / Редколлегия: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 42007.1-42007.8. – EDN CXHGOK.
14. Разработка программы и методики предварительных испытаний автономного карьерного самосвала / Д. М. Дубинкин, А. Б. Карташов, Г. А. Арутюнян [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 6(158). – С. 59-65. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-59-65. – EDN HBQGDP.