

Код МРНТИ 52.01.75

*И.В. Андрикова

Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В статье рассмотрены использование цифровых технологий и управление технологическим процессом в горной промышленности, а также экономический эффект от их применения. Предлагаемые автоматизированные и интеллектуальные системы, моделирование и цифровое проектирование способствуют повышению эффективности производства и появлению возможности исключения людей из мест с опасными условиями труда. Для наиболее качественного и полного использования всех преимуществ цифровых и роботизированных технологий необходимо разрабатывать и внедрять автоматические системы управления производством. Применение роботизированной техники может оказать значительное влияние на управление технологическим процессом горного производства.

Ключевые слова: цифровизация, геотехнология, производительность, мощность, планирование, проектирование горных работ, автоматизация производства, роботизированное управление, модернизация, Индустрия 4.0.

Тау-кен өндіру саласындағы технологиялық процесті цифрландыру және басқару

Анатпа. Мақалада цифрлық технологияларды қолдану және тау-кен өнеркәсібіндегі технологиялық процесті басқару бойынша зерттеулер жүргізілді, сонымен қатар оларды қолданудың экономикалық әсері қарастырылды. Ұсынылған автоматтандырылған және зияткерлік жүйелер, модельдеу және сандық дизайн өндіріс тиімділігін арттыруға және адамдарды қауіпті жұмыс жағдайлары бар жерлерден шығаруға көмектеседі. Цифрлық және роботтандырылған технологиялардың барлық артықшылықтарын сапалы және толық пайдалану үшін өндірісті басқарудың автоматты жүйелерін зерттеу және енгізу қажет. Роботтандырылған техниканы қолдану тау-кен өндірісінің технологиялық процесін басқаруға айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

Түйінді сөздер: цифрландыру, геотехнология, өнімділік, қуат, жоспарлау, тау-кен жұмыстарын жобалау, өндірісті автоматтандыру, роботтандырылған басқару, жаңғырту, Индустрия 4.0.

Digitalization and process control in the mining industry

Abstract. The article examines the use of digital technologies and process control in the mining industry, and also considers the economic effect of their use. The proposed automated and intelligent systems, modeling and digital design help to increase production efficiency and the ability to exclude people from places with dangerous working conditions. For the highest quality and full use of all the advantages of digital and robotic technologies, it is necessary to develop and implement automatic production management systems. The use of robotic technology can have a significant impact in the management of the technological process of mining production.

Key words: digitalization, geotechnology, productivity, capacity, planning, mining engineering, production automation, robotic control, modernization, Industry 4.0.

Введение

Целью цифровых технологий, внедряемых на современном этапе в горнодобывающей отрасли, является обеспечение работы непростых производственно-экономических систем на всех этапах жизненного цикла горного предприятия – от разведки запасов полезных ископаемых до их добычи, переработки и реализации с учетом совершенствования производительности и безопасности горных работ [1].

Цифровые технологии помогают организовать разработку проекта горнодобывающего предприятия на этапах замысла к построению информационной модели (трехмерное (3D) моделирование и цифровое проектирование), выбор технологии разработки месторождения, технико-экономическое обоснование конечного проекта, визуализацию горнотехнической системы [2].

Использование трехмерных моделей обеспечивает планомерное

управление производством горных работ. Возможности 3D-моделей для регулярного управления горнодобывающим производством:

- использование предиктивных методов анализа геоданных;
- планирование отработки запасов;
- анализ альтернативных вариантов планов горных работ;
- определение оптимального варианта в режиме реального времени.

На сегодняшний день одним из нерешенных вопросов в рассматриваемой сфере является автоматизация процессов горнодобывающего производства. Для решения этой проблемы компания Komatsu разработала автоматизированный самосвал без кабины, которым управляют диспетчеры удаленно от рудника, применяя жидкокристаллические мониторы [3].

Также в качестве решения обозначенной проблемы возможно использование системы «smart ear» (электронное ухо). Она представляет

собой датчик, монтируемый рядом с мельницей, с помощью которого отслеживается загрузка и все параллельные процессы. Благодаря особому сигналу, оператор видит, в каких случаях мельница недозагружена, и может ускорить подачу руды. На тех предприятиях, где рассматриваемая система непосредственно связана с системой подачи руды при 100%-ном исключении человеческого фактора, увеличилась эффективность работы, скорость движения конвейерной ленты, скорость подачи руды в мельницу, срок службы футеровки.

Свою эффективность показала такая цифровая технология, как система Blast movement technology, посредством которой осуществляется мониторинг руды после взрыва. Данная цифровая технология способствует уменьшению потери руды и ее реклассификации¹.

Кроме описанных цифровых технологий, в горнодобывающую

¹Абрахманова Г.И., Вишневыский К.О., Гохберг Л.М. и др. Цифровая экономика: 2021: краткий статистический сборник. – М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2021. – 96 с.

Таблица 1

Преимущества и недостатки технологии Индустрии 4.0

Кесте 1

Индустрия 4.0 технологиясының артықшылықтары мен кемшіліктері

Table 1

Advantages and disadvantages of Industry 4.0 technology

Преимущества	Недостатки
улучшение оценки ресурсов	потенциальное сокращение рабочих мест
сокращение затрат на оборудование и материалы	риск технологических сбоев
прогнозирование сбоев в работе оборудования и проведение профилактических работ	риск бесконтрольного взаимодействия систем
автоматизация и роботизация процессов	повышение уязвимости к киберугрозам
контроль и оценка производительности	

отрасль внедряются интеллектуальные системы добычи, называемые «интеллектуальный майнинг», который представляет собой человеко-машинную систему.

Составляющие «интеллектуального майнинга»:

- искусственный интеллект, способный решать сложные операционные задачи;
- современные телекоммуникационные системы, обеспечивающие мгновенную передачу больших массивов данных;
- человек в новом качестве – системный интегратор всех динамично меняющихся процессов горных работ [4, 5].

Преимущества и недостатки цифровизации в горнодобывающей промышленности

Горнодобывающему предприятию необходимы оперативные сведения о производстве, качестве, продолжительности различных циклов, состоянии машин и оборудования, а также других переменных, что обуславливает интеллектуализацию добычи с применением Индустрии 4.0.

В табл. 1 представлены преимущества и недостатки технологии Индустрии 4.0 как основы интеллектуального майнинга.

Интеллектуальный майнинг, состоящий из цифровых и роботизированных технологий Индустрии 4.0, способствует исключению на 100% человека из буровзрывных, выемочно-погрузочных, транспортных

процессов, геодезической съемки, планирования и оперативного управления процессами.

Более того, значительная степень координации и гибкость управления процессами добычи полезных ископаемых способствует обеспечению рентабельной добычи вне зависимости от уровня цен и спроса на сырье на рынке.

Направления развития «Майнинг 4.0» в горнодобывающей отрасли:

- автоматизация и роботизация основных и вспомогательных процессов;
- интегрированное производство на базе цифровой платформы и экосистемы;
- цифровая вооруженность рабочей силы;
- технологии анализа и принятия инженерных решений нового поколения [6].

Конкурентные преимущества перехода на «Майнинг 4.0»

В рамках настоящего исследования интерес представляет международный опыт применения инноваций и технологий Индустрии 4.0 для получения конкурентных преимуществ за счет перехода на «Майнинг 4.0».

В частности, канадская горнодобывающая компания Barrick Gold начала внедрять технологии искусственного интеллекта в управление процессами на руднике Кортез в США (штат Невада) вместе с американской Cisco Systems для совершенствования процесса принятия инженерных

и управленческих решений, в том числе, в целях увеличения производительности комплексов оборудования.

Южноафриканская золотодобывающая компания Gold Fields регулярно вводит инновационные и технологические проекты, связанные с наземным дистанционным управлением подземным проходческим, выемочно-погрузочным и транспортным оборудованием, совершенствует технологию беспилотных летательных аппаратов для маркшейдерской съемки и мониторинга ведения работ на участках открытой добычи золота.

Бразильская металлургическая компания SI ID выступает лидером по введению цифровых технологий «Интернета вещей» на железных рудниках, в результате чего компания достигла одной из самых низких в мире удельных затрат при добыче железной руды. В частности², посредством инвестиций в такую технологию «Майнинг 4.0», как применение безвоздушного транспортера для транспортировки руды за счет использования влажности самой руды для удаления примесей, а также ввиду автоматизации и управления комплексами шахтного и карьерного оборудования потребление воды уменьшилось на 7%.

Большинство казахстанских предприятий стремительно наращивает свой цифровой потенциал, однако темпы внедрения новых технологий все же остаются недостаточными для завоевания лидерских

²Бойко А. Добывающие компании и роботизация. Robotrends [электронный ресурс]: <http://robotrends.ru/robopedia/1711-dobyvayushie-kompani-robotizaciya> (дата обращения 24.01.2021)

позиций. Анализ индекса цифровизации бизнеса, в целом, показывает, что в Казахстане цифровизация бизнес-процессов осуществляется менее динамично по сравнению с большинством европейских стран (рис. 1). Данный показатель характеризует степень использования фирмами широкополосного Интернета, RFID-технологий, облачных сервисов, ERP-, CRM- и CSM-систем, а также возможность осуществления электронной торговли. Лидерами выступают: Финляндия – 52, Дания – 50, Бельгия – 49, Швеция – 47. Аутсайдерами являются Греция – 31, Болгария – 30, Румыния – 27. Значение индекса для Казахстана – 34.

Если рассматривать индекс цифровизации бизнеса по видам деятельности, то наиболее высокие значения показателя наблюдаются в сфере телекоммуникаций (45,5), оптовой и розничной торговли (39,2), обрабатывающей промышленности (35,8) и индустрии информационных технологий (35,6), наиболее низкие – в строительстве (25,3), водоснабжении, водоотведении и утилизации отходов (24,9), и в операциях с недвижимым имуществом (23,8).

Индекс цифровизации добывающих отраслей составляет 29,4, что ниже среднего значения по предпринимательскому сектору. Это говорит о том, что горнодобывающая промышленность является достаточно консервативной сферой, и цифровизация процессов здесь происходит гораздо меньшими темпами. Основными причинами, препятствующими цифровой трансформации, могут выступать нехватка специалистов, отсутствие отраслевых знаний и компетенций для разработки грамотной цифровой стратегии, недостаточное техническое оснащение производства. Однако, по оценкам экспертов, в ближайшем будущем цифровизация в горном секторе полностью догонит технологическую революцию 4.0.

Экономический эффект цифровых и роботизированных технологий

Международный опыт внедрения технологий «Майнинг 4.0»

показывает их высокую производственную и экономическую эффективность. Экономический эффект от внедрения цифровых технологий в 30 крупнейших горнодобывающих предприятиях мира:

- снизили затраты на техническое обслуживание на 20-40%;
- увеличили фактическую производительность комплексов оборудования на 20-30%;
- сократили капитальные затраты на 5-10%;
- улучшили состояние окружающей среды и безопасность труда, что выразилось в снижении экологических штрафов и платежей за нанесенный ущерб жизни и здоровью работников в 4-11 раз [6].

На рис. 2 представлена оценка экономического эффекта от внедрения цифровых технологий, сделанная шведским производителем

горнорудного оборудования ABB [7]. Accenture в отчете 2018 г. оценивала потенциальный эффект от внедрения цифровых технологий в горнодобывающей отрасли в 425 млрд долл. США в срок до 2025 г. За десятилетие сами предприятия могли получить дополнительную выгоду в форме роста стоимости в размере 390 млрд долл. США, что соответствует 2,7% консолидированной выручки или 9% общей прибыли сектора [8].

Вывод

Цифровые технологии, в том числе технологии Индустрии 4.0, внедряемые в горнодобывающей отрасли, формируют новые элементы открытой и подземной геотехнологии («Майнинг 4.0»). Их спецификой являются: безлюдное производство, цифровое моделирование как инструмент молниеносного

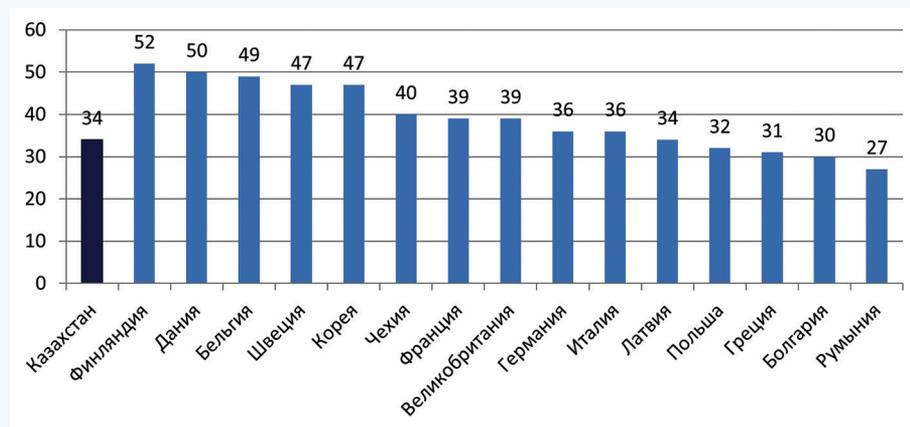


Рис. 1. Индекс цифровизации бизнеса по странам.
Сурет 1. Елдер бойынша бизнесті цифрландыру индексі.
Figure 1. Business Digitalization Index by country.



Рис. 2. Оценка экономического эффекта от внедрения цифровых технологий.

Сурет 2. Цифрлық технологияларды енгізуден экономикалық әсерді бағалау.

Figure 2. Assessment of the economic effect of the introduction of digital technologies.

и оперативного управления процессами горных работ, достоверной маркшейдерией и высочайшей безопасностью труда. Международный опыт внедрения технологий «Майнинг 4.0» продемонстрировал существенное повышение производительности и рентабельности добычи полезных ископаемых, а также обеспечение безопасности труда и охраны окружающей среды.

Заключение

Горнодобывающая отрасль должна эффективно использовать цифровые технологии в целях развития и совершенствования производственной деятельности, планирования собственных процессов, взаимодействия с поставщиками. Цифровая модель горного предприятия способствует приобретению преимуществ в таком развитии.

К 2025 г. экономический эффект от применения цифровых технологий в мировой горнодобывающей отрасли может привести к снижению затрат на 17%. Цифровые технологии в рассматриваемой отрасли предоставляют возможность снижения вариативности и увеличения производительности, поэтому представляют повышенный интерес на современном этапе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аброськин А.С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах. // Известия ТПУ. – 2020. – №12. – С. 122-130 (на русском языке)
2. Antwoop L. Десять технологий, способных трансформировать добычу полезных ископаемых. // Технологии добычи полезных ископаемых. – 2019. – Т. 4. – С. 55-64 (на английском языке)
3. Разоренова Е.Ю. Разработка предложений по формированию цифровой модели виртуального горного предприятия. // XLVII «Неделя науки СПбПУ»: Современные проблемы экономики, управления и торговли. – СПб: Изд-во СПбПУ, 2019. – Часть 2. – С. 36-41 (на русском языке)
4. Lööw J., Abrahamsson L., Johansson J. Добыча полезных ископаемых 4.0 – влияние новых технологий с точки зрения рабочего места. // Горнодобывающая промышленность, металлургия и геологоразведка. – 2020. – Т. 36. – С. 701-707 (на английском языке)
5. Кубрин С.С. Автоматизированная система управления горным производством как платформа комплексирования технологических стадий и операций в единый технологический процесс. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №11. – С. 96-107 (на русском языке)
6. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации. // Горная промышленность. – 2020. – №1. – С. 8 (на русском языке)
7. Rytoft C. Шахта будущего. // Обзор АВВ. – 2020. – Т. 3/14. – С. 7-12 (на английском языке)
8. Заернюк В.М., Забайкин Ю.В., Сейфуллаев Б.М. Особенности проявления рисков и неопределенности при реализации горных проектов. // КАНТ. – 2019. – №3. – С. 112-138 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Аброськин А.С. Ашық тау-кен жұмыстарында заманауи автоматтандыру жүйелерін қолдану. // ТПУ жаңалықтары. – 2020. – №12. – Б. 122-130 (орыс тілінде)
2. Antwoop L. Он технологиялар қабілетті өзгерте пайдалы қазбаларды өндіру. // Технологиясы, пайдалы қазбаларды өндіру. – 2019. – Көлемі 4. – Б. 55-64 (ағылшын тілінде)
3. Разоренова Е.Ю. Виртуалды тау-кен кәсіпорнының сандық моделін қалыптастыру бойынша ұсыныстар әзірлеу. // XLVII «СПбПУ Ғылым апталығы»: Экономика, басқару және сауданың заманауи мәселелері. – СПб: СПбПУ баспасы, 2019. – Бөлім 2. – Б. 36-41 (орыс тілінде)
4. Lööw J., Abrahamsson L., Johansson J. Тау-кен өндірісі 4.0-жұмыс орны тұрғысынан жаңа технологиялардың әсері. // Тау-кен, металлургия және геологиялық барлау. – 2020. – Көлемі 36. – Б. 701-707 (ағылшын тілінде)
5. Кубрин С.С. Тау-кен өндірісін басқарудың автоматтандырылған жүйесі технологиялық сатылар мен операцияларды біртұтас технологиялық үдеріске кешендеу платформасы ретінде. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – 2020. – №11. – Б. 96-107 (орыс тілінде)
6. Клебанов А.Ф. Ашық тау-кен жұмыстарын Автоматтандыру және роботтандыру: цифрлық трансформация тәжірибесі. // Тау-кен өнеркәсібі. – 2020. – №1. – С. 8 (орыс тілінде)

7. Rytøft C. Болашақ шахтасы. // ABB шолуы. – 2020. – Көлемі 3/14. – Б. 7-12 (ағылшын тілінде)
8. Заернюк В.М., Забайкин Ю.В., Сейфуллаев Б.М. Тау-кен жобаларын іске асыру кезіндегі тәуекелдер мен белгісіздіктердің ерекшеліктері. // KANT. – 2019. – №3. – Б. 112-138 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Abroskin A.S. *Primenenie sovremennykh sistem avtomatizatsii na otkrytykh gornyx rabotax* [Application of modern automation systems in open-pit mining]. // *Izvestiya TPU = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. – 2020. – №12. – P. 122-130 (in Russian)
2. Antworp L. *Ten technologies with the power to transform mining*. // *Mining Technologies*. – 2019. – Vol. 4. – P. 55-64 (in English)
3. Razorenova E.Yu. *Razrabotka predlozhenij po formirovaniyu cifrovoj modeli virtual'nogo gornogo predpriyatiya* [Development of proposals for the formation of a digital model of a virtual mining enterprise]. // *XLVII «Nedelya nauki SPbPU»: Sovremennye problemy e'konomiki, upravleniya i trgovli = XLVII «Science week of SPbPU»: Modern problems of economics, management and trade*. – St. Petersburg: Publishing House of Spbgpu, 2019. – Part 2. – P. 36-41 (in Russian)
4. Lööw J., Abrahamsson L., Johansson J. *Mining 4.0 – the Impact of New Technology from a Work Place Perspective*. // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 2020. – Vol. 36. – P. 701-707 (in English)
5. Kubrin S.S. *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya gornym proizvodstvom kak platforma kompleksirovaniya texnologicheskix stadij i operacij v edinyj texnologicheskij process* [Automated mining production management system as a platform for integrating technological stages and operations into a single technological process]. // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical Bulletin*. – 2020. – №11. – P. 96-107 (in Russian)
6. Klebanov A.F. *Avtomatizatsiya i robotizatsiya otkrytykh gornyx rabot: opyt cifrovoj transformatsii* [Automation and robotization of open-pit mining operations: experience of digital transformation]. // *Gornaya promyshlennost' = Mining Industry*. – 2020. – №1. – P. 8 (in Russian)
7. Rytøft C. *Mine of the future*. // *ABB Review*. – 2014. – Vol. 3/14. – P. 7-12 (in English)
8. Zaernyuk V.M., Zabaykin Yu.V., Seifullaev B.M. *Osobennosti proyavleniya riskov i neopredelennosti pri realizatsii gornyx proektov* [Features of the manifestation of risks and uncertainty in the implementation of mining projects]. // *KANT*. – 2019. – №3. – P. 112-138 (in Russian)

Сведения об авторе:

Андрюкова И.В., магистр эконом. наук, старший преподаватель кафедры «Экономика и менеджмент» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), i_andrukova21@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9682-544X>

Автор туралы мәлімет:

Андрюкова И.В., экономика ғылымдарының магистрі, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Экономика және менеджмент» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the author:

Andryukova I.V., Master of Economic Sciences, Senior Lecturer, Associate Professor at the Department «Economics and Management» of the Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)