

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-3-80-90

УДК 622.235

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНДУСТРИИ 4.0 В МАЙНИНГЕ 4.0 –
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ**

**DIGITAL TECHNOLOGIES OF INDUSTRY 4.0 IN MINING 4.0 - PROSPECTS FOR
THE DEVELOPMENT OF GEOTECHNOLOGY IN THE XXI CENTURY**

Чехлар Михал¹,
Dr.Hab., профессор, e-mail: michal.cehlar@tuke.sk
Cehlar Michal¹, Dr.Hab., professor
Жиронкин Сергей Александрович²,
доктор экон. наук, доцент, e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru
Sergey A. Zhironkin², Dr. Sc. in Economics
Жиронкина Ольга Валерьевна³,
канд. пед. наук, доцент, e-mail: o-zhironkina@mail.ru
Olga V. Zhironkina³, C. Sc. in Pedagogy, associate professor

¹Технический университет Кошице, 042 00 Словакия, Кошице, Летняя, 9

¹Technical University of Kosice, 042 00 Slovakia, Kosice, Letna 9

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

³Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

³Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация:

В настоящее время добыча полезных ископаемых практически переместилась из развитых стран в развивающиеся (за исключением нефтегазовой отрасли). В свою очередь, разработка месторождений твердых полезных ископаемых как подземным, так и открытым способом перестала определять технологический уровень развития промышленности, напротив, стала его арьергардом, а профессия горного инженера в XXI веке перестала быть престижной. Вместе с тем Индустрия 4.0 открывает новые горизонты для развития горнодобывающей промышленности, создавая новые возможности роста производительности с повышением безопасности труда. Грядущий этап инновационного развития геотехнологии – Mining 4.0 (Индустрия 4.0 в горнодобывающей промышленности) – ознаменован возвратом добычи полезных ископаемых в разряд высокотехнологичных производств благодаря внедрению современных цифровых технологий – безлюдных роботизированных комплексов горно-шахтного и карьерного оборудования, повсеместной цифровой телеметрии, Интернету вещей и межмашинным коммуникациям, цифровому 3D-моделированию и искусственному интеллекту в обработке больших массивов информации. С учетом этого в данной статье проанализированы формы проникновения технологий Индустрии 4.0 в горнодобывающие отрасли и международный опыт становления Майнинга 4.0, выделены риски и показаны пути дальнейшего развития геотехнологии в новую технологическую эпоху.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, Майнинг 4.0, Интернет вещей, геотехнология, производительность, цифровизация.

Abstract:

At present, the extraction of minerals has practically moved from developed countries to developing ones (except the oil and gas industry). In turn, the development of deposits of solid minerals, both underground and open pit, has ceased to determine the technological level of industrial development, on the contrary, it has become its rearguard, and the profession of a mining engineer in the 21st century has ceased to be prestigious. At the same

time, Industry 4.0 opens up new horizons for the development of the mining industry, creating new opportunities for productivity growth with improved safety. The upcoming stage of innovative development of geotechnology – Mining 4.0 (Industry 4.0 in the mining industry) - is marked by the return of mining to the category of high-tech industries, thanks to the introduction of modern digital technologies – deserted robotic complexes of mining and quarry equipment, ubiquitous digital telemetry, the Internet of things and machine-to-machine communications, digital 3D modeling and artificial intelligence in processing large amounts of information. With this in mind, this article analyzes the forms of penetration of Industry 4.0 technologies into the mining industry, and the international experience of the formation of Mining 4.0, highlights the risks and shows the ways for the further development of geotechnology in the new technological era.

Key words: *Industry 4.0, Mining 4.0, Internet of Things, geotechnology, productivity, digitalization.*

Горнодобывающая промышленность находится в процессе технологической трансформации, поскольку цифровые и автоматизированные технологии преобразуют традиционную геотехнологию – как открытую, так и подземную. В условиях нестабильного мирового спроса на сырье, растущих требований к безопасности труда, ужесточения экологического законодательства и сокращающейся прибыли горнодобывающая промышленность должна повышать свою производительность за счет внедрения интеллектуальных систем добычи с тем, чтобы выжить на конкурентном рынке.

Такие системы, получившие название «интеллектуальный майнинг» [1], соединяют искусственный интеллект, способный решать сложные оперативные задачи, современные телекоммуникационные системы, обеспечивающие мгновенную передачу больших

массивов данных, и человека в новом качестве – системного интегратора всех динамично меняющихся процессов горных работ. В интеллектуальном майнинге крайне важно обеспечить потоки обмена информацией в реальном времени между различными процессами шахты или разреза, отдельными участками и дирекцией. Горнодобывающей компании требуется мгновенная информация о производстве, качестве, продолжительности различных циклов, состоянии машин и оборудования, а также других переменных, что требует интеллектуализации добычи с использованием Индустрии 4.0.

Технологии Индустрии 4.0 – основа интеллектуального майнинга – обеспечивают более точное определение объемов полезных ископаемых, подлежащих извлечению при существующих ценах и затратах, оптимизацию потоков материалов и использования

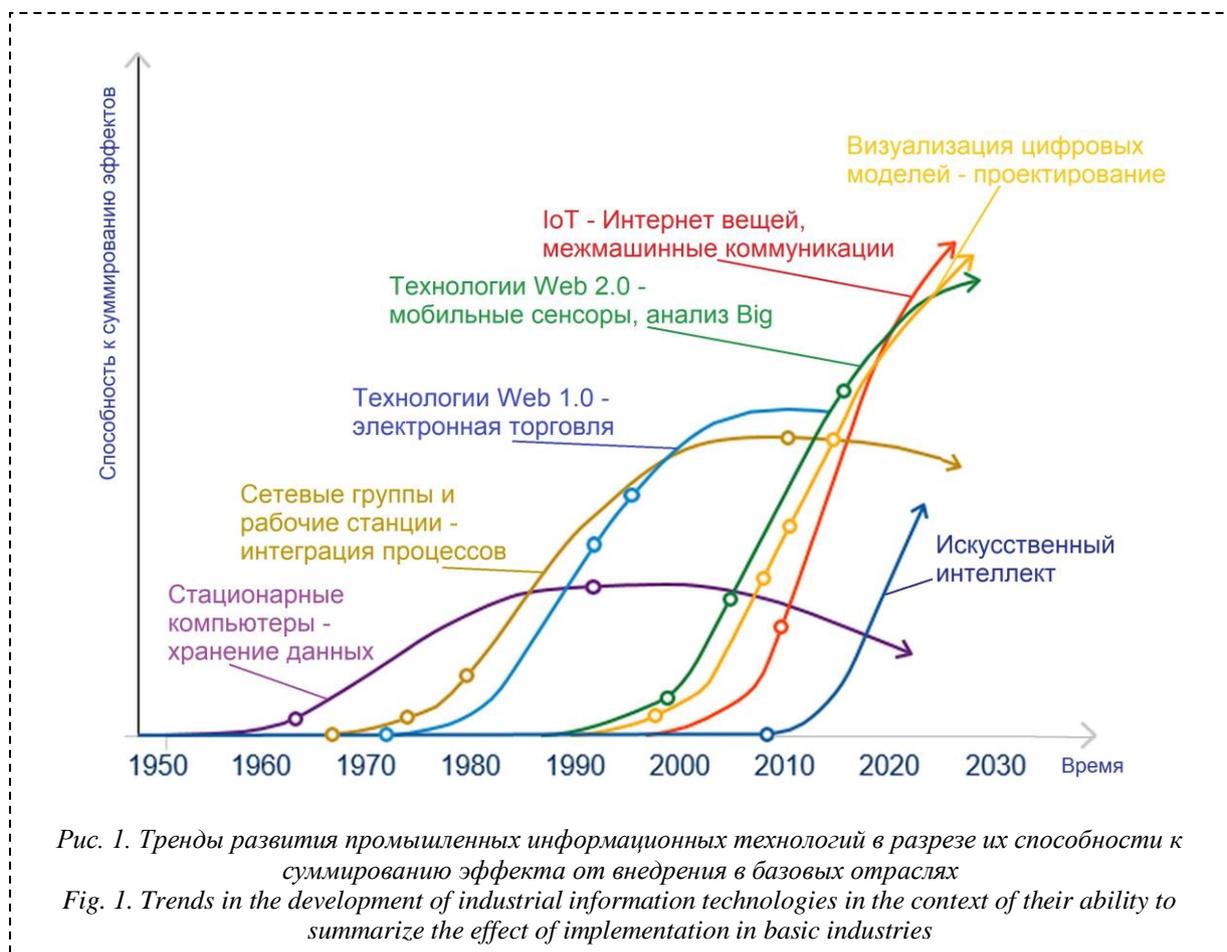
Таблица 1. Связь этапов развития промышленности, геотехнологии и эволюция Майнинга 4.0
 Table 1. Relationship between the stages of industrial development, geotechnology and the evolution of Mining 4.0

Период	Этапы развития промышленности	Технологические инновации	Этапы развития геотехнологии	Инновации в горном деле
XVIII-XIX вв.	Индустрия 1.0	Каменноугольный кокс, паровые машины, добыча природного газа	Майнинг 1.0	Механизация вспомогательных процессов
Вторая половина XIX - начало XX вв.	Индустрия 2.0	Электричество, поточное производство, добыча нефти и цветных металлов, двигатели внутреннего сгорания	Майнинг 2.0	Механизация основных процессов
Вторая половина XX в.	Индустрия 3.0	Автоматизация, аналоговые вычислительные и управляющие системы	Майнинг 3.0	Оборудование высокой удельной производительности, аналоговая телеметрия
Начало XXI в.	Индустрия 4.0	Цифровизация, Интернет вещей, искусственный интеллект, конвергентные технологии	Майнинг 4.0	Безлюдные технологии, удаленное управление процессами, цифровое моделирование

оборудования, улучшенное прогнозирование сбоев, повышенную автоматизацию, такую как маркшейдерская съемка с использованием дронов и 3D-лазерной технологии, виртуальный цифровой тренинг персонала, автоматизированные мобильные парки оборудования с использованием искусственного интеллекта в диспетчинге, роботизированные участки. Это также позволяет обеспечить мониторинг производительности в реальном времени и безопасность людей и оборудования. Благодаря использованию Интернета вещей (IoT) [2], «больших данных» (Big Data), межмашинного взаимодействия (M2M) [3], искусственного интеллекта для аналитики данных, интеллектуальных датчиков (Smart Sensors) [4], экскаваторов, буровых станков, автосамосвалов-роботов, облака наблюдательных дронов интеллектуальный майнинг, называемый также Майнинг 4.0 [5], основанный на цифровых и роботизированных технологиях Индустрии 4.0, позволит полностью исключить человека из буровзрывных, выемочно-погрузочных, транспортных процессов, геодезической съемки, планирования и оперативного управления процессами. При этом высочайшая степень координации и гибкость управления процессами добычи полезных ископаемых позволит обеспечить рентабельную добычу при любом

уровне цен и спроса на сырье на мировом и внутреннем рынках. Эволюция Майнинга 4.0 представлена в Табл. 1.

Из Табл. 1 следует, что развитие геотехнологии фактически отражает запрос промышленности на новые виды и растущие объемы промышленного сырья. Перспективы внедрения цифровых технологий Индустрии 4.0 в горнодобывающей отрасли – одного из самых консервативных секторов экономики – связаны с ростом спроса и глобальной конкуренцией на рынке сырья. В ближайшие десятилетия объемы добычи на каждой шахте, разрезе или руднике будут зависеть от мировых цен и спроса. То есть будущая добыча полезных ископаемых станет производным значением от глобальных цен, определяемых международной конкуренцией [6]. Горнодобывающая промышленность преодолела множество проблем с помощью новых технологий, но одних информационных технологий в будущем будет недостаточно. Несмотря на то, что технологический аспект добычи полезных ископаемых находится на переднем крае инновационного развития отрасли, одним из наиболее важных условий выживания горнодобывающих предприятий станет наличие компетентной рабочей силы, способной справиться с новейшими информационными



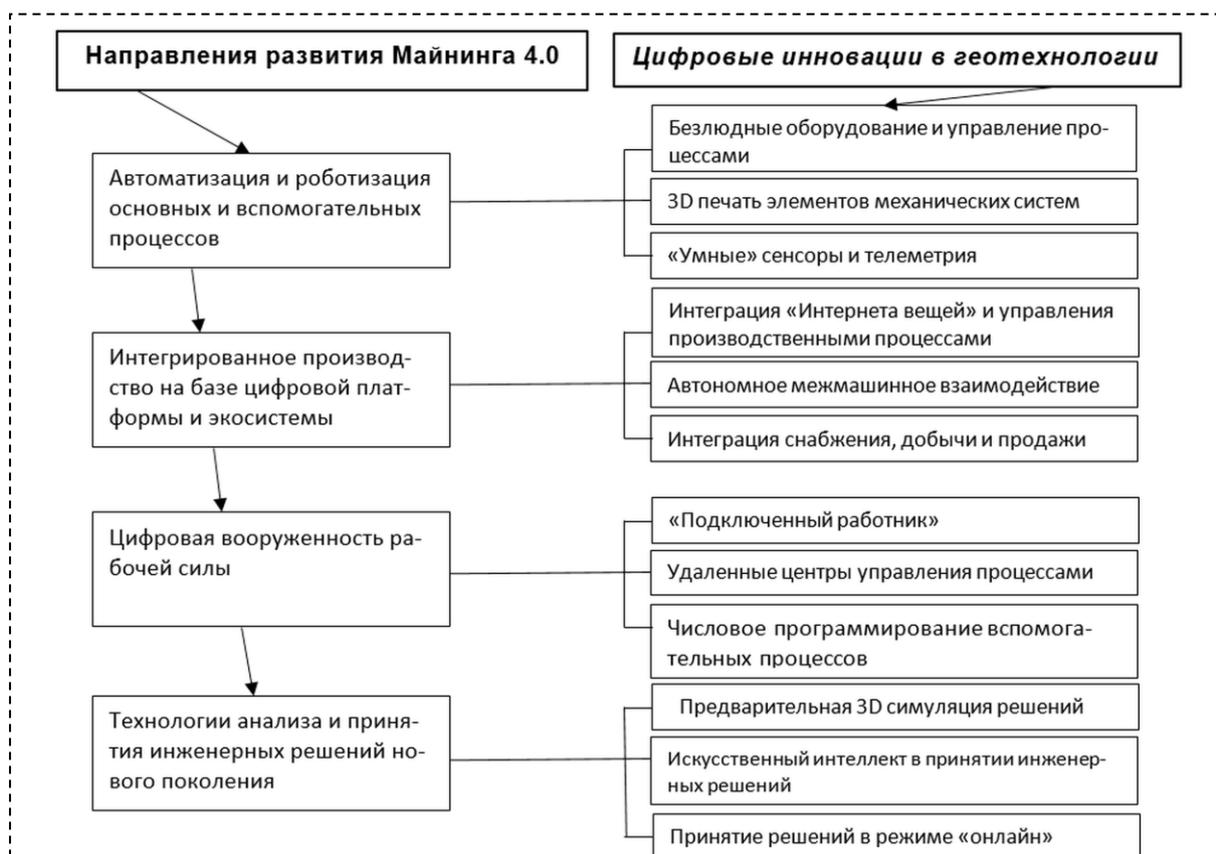


Рис. 2. Направления развития Майнинга 4.0 и цифровых технологий в горном деле
 Fig. 2. Development directions of Mining 4.0 and digital technologies in mining



Рис. 3. Визуализация открытых горных работ на примере 3D-модели в режиме реального времени
 Fig.3. Visualization of open pit mining using the example of a 3D-model in real time

технологиями, а это, в свою очередь, ставит проблему синхронной смены поколений не только техники, но и работников [7].

Развивающаяся цифровизация в горнодобывающей отрасли предлагает новые возможности для повышения производительности и в то же время может создать новые рабочие места с принципиально иным уровнем безопасности

труда, сопоставимым с офисной работой. Тренды развития информационных технологий в базовых отраслях мировой промышленности отражены на Рис. 1 (составлен авторами по данным [8]).

Детально направления развития Майнинга 4.0 и место в нем специфических технологий отражены на Рис. 2.

При поступательном развитии технологии



Рис. 4. Экосистема Интернета вещей на горнодобывающем предприятии
 Fig. 4. Ecosystem of the Internet of Things in a mining enterprise

визуализации цифровых моделей горнодобывающих предприятий, технологических процессов, работы оборудования, состояния массива, атмосферы, гидросферы и т.п. к концу 2030 гг. ожидается создание рабочих мест для горняков, которые по сути будут диспетчерами и стратегическими планировщиками не одного процесса, а целого комплекса [9]. Уже сегодня «умные» сенсоры, широкое использование дронов, камер и методов обработки изображений позволяют принимать инженерные и управленческие решения, опережающие появление проблем. Пример визуализации комплексного 3D-моделирования открытых горных работ (Рио Тинто, Австралия) в режиме реального времени отражен на Рис. 3 [10].

Как следует из Рис. 3, сверхнаглядное представление о состоянии различных процессов добычи полезных ископаемых, получаемое при машинной обработке данных со множества камер, дронов и сенсоров, дает возможность удаленного управления горными работами. Радикальное изменение положения человека в осуществлении технологических операций в рамках Майнинга 4.0 связано с проникновением в процессы добычи и переработки полезных ископаемых такой разновидности Индустрии 4.0, как 3D-моделирование и Интернет вещей.

Под Интернетом вещей (IoT) обычно понимают обширную сеть подключенных физических устройств, количество которых сейчас превышает количество людей. Майнинг 4.0 предполагает повсеместное внедрение технологий Промышленного Интернета вещей (IIoT), который развивается благодаря управляемым циклам потока данных, когда данные перетекают от встроенных сенсоров или управляющих консолей-пультов («вещей») в хранилища данных, затем на аналитические платформы, откуда они передаются

конечным пользователям (аналитикам) и, наконец, попадают обратно в технологический процесс. Благодаря Интернету вещей горнодобывающие компании теперь могут технологически соединять оборудование для подготовки горных пород к выемке, выемочно-погрузочное, а также транспортное и перерабатывающее оборудование в единый комплекс при помощи «умных» датчиков и операторов, соединенных при помощи Интернета в единую платформу. Эти интегрированные платформы приводят к более эффективному принятию решений за счет мгновенного анализа поступающих данных и передачи управляющего воздействия техническим системам (Рис. 4 – составлен авторами по данным [11]).

Интернет вещей трансформирует физический мир геотехнологии в своего рода информационную систему за счет использования Интернет-протокола (IP). Это преобразование устраняет разницу между информацией, оборудованием и горными массивами, связывая их с информацией для полной консолидации устройств и управления процессами. Такой сценарий изображен на Рис. 4 в виде интегрированной платформы.

Хотя цифровая экосистема Индустрии 4.0 для горнодобывающей отрасли, представленная на Рис. 4, есть реальность, грядущая для многих горнодобывающих компаний, на концептуальном уровне она означает, что посредством интегрированных цифровых платформ люди, оборудование и технологические процессы объединяются в единое целое. Это слияние объединяет операционные, инжиниринговые центры и центры информационной поддержки. Таким образом, интегрированные цифровые платформы есть необходимые условия для реализации Майнинга 4.0.

Центры удаленных операций (ROC) быстро становятся незаменимыми инструментами

управления горнодобывающих компаний для администрирования, интеграции и обработки больших объемов входящих данных. Традиционные методы представления и анализа данных, такие как электронные таблицы и отчеты, не соответствуют принятию инженерных решений при управлении безлюдными техническими и технологическими системами. Центры удаленных операций используют технологии, давно применяемые в отраслях, не связанных с добычей полезных ископаемых, такие как облачные вычисления и визуализация данных с целью быстрого принятия эффективных решений. Кроме того, Центры удаленных операций снижают подверженность рабочего персонала горных предприятий техногенным рискам и повышают производительность. Используя дистанционное и полуавтономное оборудование, работники не подвергаются воздействию вредных и опасных факторов, тем самым устраняется необходимость в более дорогостоящих и менее эффективных мерах безопасности, таких как технические средства контроля, средства индивидуальной защиты и т.п. В ROC операторы обычно работают в комфортабельных помещениях с контролируемым климатом и могут управлять несколькими единицами оборудования, что приводит к заметному увеличению производительности.

Благодаря интеграции различных платформ Интернета вещей и управления производственными процессами, горнодобывающие компании могут преобразовать свои операции в информационные системы. Масштабируемость – основа любой интегрированной платформы. Программируемые интерфейсы приложений (API) обеспечивают привлекательный и масштабируемый способ интеграции нескольких технологических процессов, которые превращаются в источники данных, в одну систему. API устанавливает протокол, по которому разработчик или сторонняя программа запрашивают информацию с сенсоров, камер, планшетов, дронов, комплексов оцифровки изображений. Именно с помощью API-интерфейсов роботизированное оборудование соединяется с контрольными центрами путем подключения к многоплатформенным приложениям, и они могут взаимодействовать друг с другом и обмениваться данными. Сложный характер процессов на горнодобывающих предприятиях требует понимания их взаимосвязей, необходимости личного контроля операторами определенного оборудования и действий, производственной и информационной культуры, доступности информации, интегрируемых элементов данных.

В цифровой экосистеме Индустрии 4.0 человек – оператор технологических систем Майнинга 4.0 не ограничен в своих действиях диспетчингом. Вместо этого данные,

характеризующие основные и вспомогательные технологические процессы, консолидируются и интерпретируются в той форме, которая позволяет незамедлительно принять инженерные решения. Горный инженер, таким образом, решает технологические проблемы непосредственно при возникновении угрозы, удаленно взаимодействуя с другими операторами, экспертами, поставщиками и клиентами в мультикомпетентных операционных системах. Управление производством можно осуществлять в «цифровом клоне», удаленно от шахты или разреза. Технологии Индустрии 4.0 используют преимущества искусственного интеллекта, поддерживающего человеческие навыки, а также повышают ситуационную осведомленность с помощью датчиков, размещенных как на оборудовании, так и на работниках.

Технологии Майнинга 4.0, являясь результатом применения Индустрии 4.0 в горном деле, могут быть определены с учетом восьми критериев, которые рассматриваются как основа новой геотехнологии:

- использование дополненной реальности (AR) для интеграции информации из цифрового в физический мир – к примеру, получение обслуживающим персоналом шахты или разреза инструкций к действию непосредственно от производителей оборудования или проектировщиков. Через специальные очки, которые отправляют и принимают видеобразы в реальном времени, обе стороны смогут увидеть проблему, которая затем может быть решена с помощью инструкций;

- использование виртуальной реальности (VR) для моделирования опасных реальных ситуаций и отработки способов их предотвращения и ликвидации последствий. Фактически обучение виртуальной реальности уже относительно распространено в горнодобывающей промышленности и, вероятно, найдет в ней наибольшее применение. Это включает обучение сценариям повышенного риска. В принципе, можно поместить всю систему управления добычей и переработкой полезных ископаемых на предприятии в среду виртуальной реальности и таким образом, сделать ее независимой от местоположения;

- использование биомеханических элементов для защиты работников, увеличения их силы и выносливости;

- применение носимых датчиков для мониторинга показателей, связанных со здоровьем и местоположением работников. Эти разработки в определенной степени уже реализуются в отрасли – например, используются передовые системы подземного позиционирования и мониторинга состояния здоровья горняков [12];

- использование интеллектуальных персональных помощников для взаимодействия



Рис. 5. Пример действия безлюдных роботизированных автосамосвалов (Рио Тинто, Австралия).
Fig. 5. An example of the operation of unmanned robotic dump trucks (Rio Tin-to, Australia).



Рис. 5. Пример действия безлюдных буровых станков и локомотив-состава (Рио Тинто, Австралия).
Fig. 5. An example of the operation of unmanned drilling rigs and a locomotive train (Rio Tinto, Australia).

горняков с машинами, компьютерами, базами данных и другими информационными системами. В настоящее время существуют примеры использования RFID-меток вместе с приложением для смартфонов, чтобы быстро и легко сообщить о неисправности оборудования;

- совместное использование несколькими операторами роботов для выполнения повторяющихся и трудоемких задач. В горнодобывающей промышленности существуют полуавтономные машины, такие как погрузчики, где оператор сначала «обучает» машину траектории, по которой она затем следует автоматически, в то время как оператор дистанционно управляет ею во время фактической загрузки. В данном случае повторяющаяся рутинная работа возлагается на роботизированное оборудование.

- использование сетей Wi-Fi и 5-6G для взаимодействия операторов между собой, а также между операторами и Интернетом вещей. Это стало возможным благодаря внедрению подземного Интернета с доступом к корпоративным социальным сетям. Уже есть шахты, где внедрение Wi-Fi означает, что операторы, управляющие полуроботизированными машинами, используют групповые чаты для обмена информацией;

- использование искусственного интеллекта для безлюдного анализа больших данных и обнаружения полезной информации для

прогнозирования неблагоприятных событий.

Мировые примеры использования инноваций и технологий Индустрии 4.0 для получения конкурентных преимуществ за счет перехода на Майнинг 4.0 включают в себя следующие:

1. Австралийский концерн «Рио Тинто Групп» («Rio Tinto Group») является признанным лидером в реализации инициативы Майнинга 4.0 по автоматизации в рамках проекта «Шахта будущего», запущенного в 2008 г., который включал создание центра для удаленного мониторинга горнодобывающих операций (в частности, по добыче железной руды). Уже достигнутые возможности повышения эффективности, по-видимому, помогли сократить расходы на 80 млн долл. с обязательством обеспечить дополнительный приток выручки в размере 500 млн долл. с 2021 года [13]. Автономные самосвалы без водителя уже перевозят более четверти руды и вмещающей породы (Рис. 5), а поскольку 80 из 400 самосвалов уже работают в автономном режиме, ожидается, что в будущем этот показатель будет расти.

Эти будущие пополнения парка автономных автосамосвалов изучаются и, как ожидается, внесут вклад в программу повышения производительности на 5 млрд долл. Также рассматриваются планы по удвоению парка автономных буровых станков. В 2018 г. была завершена первая поездка с полностью автономным локомотив-составом; планируется

создать сеть таких поездов с машинистами в Западной Австралии (Рис. 6).

2. Канадская добывающая компания «Голдкорп» («Goldcorp») с 2015 г. начала использовать систему когнитивных вычислений IBM, которая реализует машинное обучение в системе взаимодействия с данными и людьми, и может оперативно трансформировать каждый технологический аспект процесса добычи полезных ископаемых благодаря созданию единой цифровой модели [13].

3. Канадская горнодобывающая компания «Бэррик Голд» («Barrick Gold»), один из мировых лидеров по добыче золота, начала внедрять технологии искусственного интеллекта в управление процессами на руднике Кортес в США (штат Невада) совместно с американской Cisco Systems с целью улучшения процесса принятия инженерных и управленческих решений, а также для повышения производительности комплексов оборудования [14].

4. Южноафриканская золотодобывающая компания «Голд Филдз» («Gold Fields») активно внедряет инновационные и технологические проекты, связанные с наземным дистанционным управлением подземным проходческим, выемочно-погрузочным и транспортным оборудованием, развивает технологию беспилотных летательных аппаратов для маркшейдерской съемки и мониторинга ведения работ на участках открытой добычи золота [15].

5. Бразильская металлургическая компания «Эс-Ай Ай-Ди» («SI ID») является континентальным лидером во внедрении технологий Интернета вещей на железных рудниках. Результатом стало достижение одной из самых низких удельных затрат добычи железной руды в мире – за счет инвестиций в технологии Майнинга 4.0, таких как использование безвоздушного транспортера для транспортировки руды, сокращение потребления воды до 93% за счет использования влажности самой руды для удаления примесей, а также за счет автоматизации и управления комплексами шахтного и карьерного оборудования [16].

6. Одна из крупнейших мировых горнодобывающих компаний «Би-Эйч-Пи Биллитон» («BHP Billiton», Австралия и Великобритания), осуществляющая добычу нефти и газа, меди, железной руды и угля на всех континентах, является мировым лидером использования дронов для получения оперативной информации о состоянии открытых горных работ и специальных подземных мобильных съемочных комплексов для контроля над процессами в шахтах. По оценкам компании только на своих объектах в Квинсленде (Австралия) она экономит 5 млн долл. в год, заменяя бригады маркшейдеров и инженеров по охране труда дронами для оперативного 3D-картирования и отслеживания

ситуации на объектах повышенной опасности [17]. Так, беспилотные летательные аппараты используются для обеспечения безопасности взрывных работ и отслеживания движения пылегазовых облаков, образовавшихся в результате массовых взрывов на поверхности.

В целом мировой опыт внедрения технологий Майнинга 4.0 свидетельствует об их высокой производственной и экономической эффективности. Так, анализ затрат 30-ти крупнейших горнодобывающих и нефтегазодобывающих компаний мира, проведенный британской компанией «Прайс Уотерхауз Куперз» («Pricewaterhouse & Coopers») в 2014-2016 гг., показал, что компании, активно внедрявшие технологии Майнинга 4.0, снизили затраты на техническое обслуживание на 20-40%, увеличили фактическую производительность комплексов оборудования на 20-30%, сократили капитальные затраты на 5-10%, а также 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 [18].

Следовательно, можно с уверенностью говорить о имеющемся технологическом, организационном и экономическом заделе радикальной трансформации геотехнологии в XXI веке под влиянием цифровых технологий Индустрии 4.0. Развивающаяся система организации производства и управления технологическими процессами – Майнинг 4.0 – радикально изменит роль и место горных инженеров в обеспечении добычи полезных ископаемых. Вместе с тем нельзя не отметить некоторые риски, возникающие с быстрой заменой человека автоматизированными и информационными системами управления процессами горных работ. Эти риски имеют как социальные последствия (сокращение занятости), так и производственно-технологические (исключение живого инженерного творчества, интуиции и человеческого опыта несет опасность формализации решений сложных проблем, что чревато более серьезными последствиями).

Появление технологических рисков цифровизации процессов открытых и подземных горных работ, нефтегазодобычи, а также обогащения и переработки полезных ископаемых связано таким образом – то, что раньше было неявными знаниями инженеров, накопленным с опытом и передаваемым поколениям новых специалистов, теперь формализуется в теоретические знания, оцифровываются и используются в компьютерах и смартфонах. Когда рутинная задача автоматизируется, обычно бывшие специалисты, контролировавшие ее решение, становятся операторами новой системы. Эти операторы будут обеспечивать производительность и безопасность на прежнем

уровне, потому что, ранее работая с данной задачей, они имели фундаментальное понимание технологии, которую они контролировали. Следующее поколение операторов может не понимать технологические особенности производства, поскольку управление рутинными операциями возлагается на информационные системы целиком. В результате отклонение протекания фактических процессов добычи полезных ископаемых от их цифровых моделей может не встретить адекватного понимания со стороны инженеров, и проблема выйдет на более высокий уровень, вплоть до остановки всего предприятия, техногенной аварии или катастрофы.

Ускоренная цифровизация горнодобывающей промышленности в рамках Майнинга 4.0 потребует от горняков навыков решения более теоретических, более общих и коммуникативных задач; также может иметь место так называемый дескиллинг – фрагментация профессиональных знаний и навыков горного инженера. Некоторые из рабочих задач, которые ранее выполнялись командами – отделами, бригадами, звеньями – могут выполняться отдельными работниками, снабженными оборудованием, включенным в Интернет вещей и оснащенным искусственным интеллектом. Однако существующие организационные структуры управления горным производством и уникальную культуру трудно изменить. Утрата индивидуальности и символических аспектов работы, таких как восприятие горняка как сильного и храброго человека, может быть болезненной. Такой конфликт в представлении о добыче полезных ископаемых между требованием физических нагрузок и цифровыми технологиями, которые превращают труд горняков практически в офисную работу, может нарушить условие эффективной деятельности рабочего коллектива – общей самоидентификации (горняцкое братство) и сходством между работниками (профессиональный стандарт). А повсеместное внедрение дистанционного управления

процессами горных работ приведет к тому, что горняки, ставшие операторами, смогут свободно решать, где им работать. Однако такая свобода может также означать более высокие требования со стороны работодателя. Ситуация, в которой работник задействован 365 дней в году, может стереть границы между работой и личной жизнью, создать риск беспокойства и напряжения на работе.

Таким образом, технологии Индустрии 4.0, широко внедряемые в горнодобывающей промышленности стран – мировых лидеров развития минерально-сырьевого сектора – порождают новые элементы открытой и подземной геотехнологии (Майнинг 4.0), отличающиеся безлюдным производством, цифровым моделированием как средством сверхбыстрого и надежного оперативного управления процессами горных работ, сверхточной маркшейдерией и высочайшей безопасностью труда. Имеющийся опыт внедрения технологий Майнинга 4.0 показал значимый прирост производительности, безопасности труда и окружающей среды, существенный рост рентабельности добычи полезных ископаемых. Вместе с тем сохраняются производственно-технические, социальные, экологические риски, связанные с невозможностью полной замены цифровыми технологиями человека в системе управления процессами горных работ и горнодобывающими предприятиями в целом. Снижение данных рисков видится возможным в процессе поиска новых форм соединения человека и искусственного интеллекта, например, в рамках прямой эмуляции управления при проектировании дистанционного управления оборудованием и горными работами. Чтобы своевременно обеспечить омологацию инженерного корпуса добывающих предприятий в условиях диффузии технологий Индустрии 4.0 в горное производство, важно анализировать инновационное развитие геотехнологии с точки зрения интересов работников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аброськин, А.С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах // Известия ТПУ. – 2015. – №12. – С.122-130.
2. Du Preez, S. New tech trends driving IT/OT convergence in mining in Africa // African Mining Brief. – 2014. – Vol. 2(12). – P. 16-22.
3. Rytøft, C. Mine of the future // ABB Review. – 2014. Vol. 3/14. – P. 7-12.
4. Antworp, L. Ten technologies with the power to transform mining // Mining Technologies. – 2018. – Vol. 4. – P. 55-64.
5. Löw, J. Mining 4.0 – the Impact of New Technology from a Work Place Perspective / J. Löw, L. Abrahamsson, J. Johansson // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2019. – Vol. 36. – P. 701-707.

6. УГМК. Динамика и прогноз мировых цен на уголь. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ugmk.com/analytics/surveys_major_markets/coal/ – [15.08.2020].
7. Rowland, J. Be a (technology) leader // World Coal. – 2014. – Vol. 6. – P. 3-15.
8. World Economic Forum. Digital Transformation Initiative. Mining and Metals Industry. 2017. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf> – [15.08.2020].
9. Трубецкой, К.Н. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых / К. Н. Трубецкой, А.В. Мясков, Ю.П. Галченко, В.А. Еременко // Горный журнал. – 2019. – № 5. – С.35-51.
10. Rio Tinto Smart Mining [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.riotinto.com/about/innovation/smart-mining> – [15.08.2020].
11. Young, A. A Review of Digital Transformation in Mining / A. Young, W.P. Rogers // Mining Metallurgy & Exploration. – 2019. – Vol. 36. – pp. 683-699.
12. Durrant-Whyte H. How digital innovation can improve mining productivity / H. Durrant-Whyte, R. Geraghty, F. Pujol, R. Sellschop. [Электронный ресурс]. – New York: McKinsey & Company, 2015. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.it/idee/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity> – [15.08.2020].
13. Suppes, R., Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education / R. Suppes, Y. Feldmann // Mining goes Digital: Proceedings of the 39th International Symposium 'Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry' (APCOM 2019), June 4-6 2019. – Wroclaw: University of Wroclaw Press, pp.17-36.
14. Официальный сайт компании «Бэррик Голд» (Barrick Gold). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.barrick.com/English/home/default.aspx> – [15.08.2020].
15. Официальный сайт компании «Голд Филдз» (Gold Fields). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.goldfields.com> – [15.08.2020].
16. Официальный сайт компании «Эс-Ай Ай-Ди» (SI ID). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vale.com/EN/Pages/Landing.aspx> – [15.08.2020].
17. Официальный сайт компании «Би-Эйч-Пи Биллитон» (BHP Billiton). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bhp.com/our-approach/our-company/> – [15.08.2020].
18. Price Waterhouse and Coopers. Обзор горнодобывающей промышленности – 2018 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/assets/mine-2018-rus.pdf> – [15.08.2020].

REFERENCES

1. Abros'kin, A.S. Primenenie sovremennyh sistem avtomatizacii na otkrytyh gornyh rabotah // Izvestiya TPU. – 2015. – Vol.12. – S.122-130.
2. Du Preez, S. New tech trends driving IT/OT convergence in mining in Africa // African Mining Brief. – 2014. – Vol. 2(12). – P. 16-22.
3. Rytøft, C. Mine of the future // ABB Review. – 2014. Vol. 3/14. – P. 7-12.
4. Antworp, L. Ten technologies with the power to transform mining // Mining Technologies. – 2018. – Vol. 4. – P. 55-64.
5. Löw, J. Mining 4.0 – the Impact of New Technology from a Work Place Perspective / J. Löw, L. Abrahamsson, J. Johansson // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2019. – Vol. 36. – P. 701-707.
6. УГМК. Динамика и прогноз мировых цен на уголь. [Elektronnyj resurs] – Re-zhim dostupa: https://www.ugmk.com/analytics/surveys_major_markets/coal/ – [15.08.2020].
7. Rowland, J. Be a (technology) leader // World Coal. – 2014. – Vol. 6. – P. 3-15.
8. World Economic Forum. Digital Transformation Initiative. Mining and Metals Industry. 2017. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf> – [15.08.2020].
9. Trubeckoj, K.N. Obosnovanie i sozdanie konvergentnyh gornyh tekhnologij podzemnoj razrabotki moshchnyh mestorozhdenij tverdyh poleznyh iskopaemyh / K.N. Trubeckoj, A. V. Myaskov, Yu. P. Galchenko, V. A. Eremenko // Gornyj zhurnal. – 2019. – Vol. 5. – S.35-51.

10. Rio Tinto Smart Mining [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.riotinto.com/about/innovation/smart-mining> – [15.08.2020].
11. Young, A. A Review of Digital Transformation in Mining / A. Young, W.P. Rogers // Mining Metallurgy & Exploration. – 2019. – Vol. 36. – pp. 683-699.
12. Durrant-Whyte H. How digital innovation can improve mining productivity / H. Durrant-Whyte, R. Geraghty, F. Pujol, R. Sellschop. [Elektronnyj resurs]. – New York: McKinsey & Company, 2015. – Rezhim dostupa: <https://www.mckinsey.it/idee/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity> – [15.08.2020].
13. Suppes, R., Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education / R. Suppes, Y. Feldmann // Mining goes Digital: Proceedings of the 39th International Symposium 'Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry' (AP-COM 2019), June 4-6 2019. – Wroclaw: University of Wroclaw Press, pp.17-36.
14. Oficial'nyj sajt kompanii «Berrick Gold» («Barrick Gold»). [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.barrick.com/English/home/default.aspx> – [15.08.2020].
15. Oficial'nyj sajt kompanii «Gold Fildz» («Gold Fields»). [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.goldfields.com> – [15.08.2020].
16. Oficial'nyj sajt kompanii «Es-Aj Aj-Di» (SI ID). [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.vale.com/EN/Pages/Landing.aspx> – [15.08.2020].
17. Oficial'nyj sajt kompanii «Bi-Ejch-Pi Billiton» (BHP Billiton). [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.bhp.com/our-approach/our-company/> – [15.08.2020].
18. Price Waterhouse and Coopers. Obzor gornodobyvayushchej promyshlennosti – 2018 g. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/assets/mine-2018-rus.pdf> – [15.08.2020].

Поступило в редакцию 19.05.2020
Received 19 May 2020