

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-3-94-102

УДК 622.235

**ГОРИЗОНТЫ КОНВЕРГЕНТНОГО РАЗВИТИЯ ОТРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ
В 21-М ВЕКЕ: МИРОВОЙ ОПЫТ****HORIZONS OF CONVERGENT DEVELOPMENT OF OPEN PIT GEOTECHNOLOGY IN THE 21ST CENTURY: WORLD EXPERIENCE****Чехлар Михал¹,**

PhD, профессор, e-mail: michal.cehlar@tuke.sk

Cehlar Michal¹, PhD, 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: zhironkin@inbox.ru

Olga V. Zhironkina³, Cand. Sc. in Pedagogy, associate professor¹Технический университет Кошице, 042 00 Словакия, Кошице, Летняя 9¹Technical University of Kosice, 042 00 Slovakia, Kosice, Letna 9²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation³Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6³Kemerovo State University, 650000, Russia, Kemerovo, ul. Krasnaya, 6**Аннотация:**

В настоящее время развитие горнодобывающих отраслей минерально-сырьевого комплекса во всем мире сдерживается его более низкой производительностью труда по сравнению с отраслями глубокой переработки сырья. Несмотря на динамичное инновационное развитие механизации открытых горных работ и выпуск высокопроизводительного оборудования, геотехнология, как открытая, так и подземная, остается достаточно консервативной. В результате в ресурсо-обеспеченных странах добыча полезных ископаемых перестает определять технологический уровень развития промышленности, в горнодобывающих районах имеет место депривация, а труд горняков постепенно маргинализируется. Ответом на стоящие перед горнодобывающими отраслями вызовы является конвергентное развитие геотехнологии, основанное на глубокой интеграции с информационными, когнитивными, био- и нанотехнологиями, радикально преобразующими традиционные способы добычи полезных ископаемых. В мире постепенно накапливается опыт автоматизации технологических процессов открытых горных работ на основе искусственного интеллекта, облачных вычислений и онлайн планирования, безлюдных технологий бурения, экскавации и транспортировки горной массы, уже сегодня демонстрирующих значительный прирост производительности и безопасности труда. С учетом уникальной обеспеченности России полезными ископаемыми, рассмотренный в данной статье международный опыт конвергентного развития открытой геотехнологии призван содействовать укреплению национального минерально-сырьевого комплекса на мировом рынке ресурсов.

Ключевые слова: открытая геотехнология, технологическая конвергенция, производительность, дигитализация, мировой опыт

Abstract:

Currently, the development of the mining sector of the mineral resource complex around the world is constrained by its lower labor productivity compared to the industries of deep processing of raw materials. Despite the dynamic innovative development of the mechanization of open pit mining and the production of high-

performance equipment, geotechnology, both open pit and underground, remains quite conservative. As a result, in resource-rich countries, mining ceases to determine the technological level of industrial development, deprivation takes place in mining areas, and the work of miners is gradually marginalized. The answer to the challenges facing the mining industry is the convergent development of geotechnology, based on deep integration with information, cognitive, bio- and nanotechnologies, which radically transform the traditional methods of mining. The world is gradually gaining experience in automating technological processes of open pit mining based on artificial intelligence, cloud computing and on-line planning, unmanned drilling, excavation and transportation of rock mass, which already today demonstrate a significant increase in productivity and labor safety. Given Russia's unique mineral wealth, the international experience of convergent development of open pit geotechnology considered in this article is designed to help strengthen the national mineral resource complex in the global resource market.

Key words: open pit geotechnology, technological convergence, productivity, digitalization, world experience

Несмотря на прогнозируемый рост спроса на минеральное сырье в долгосрочной перспективе [1], в настоящее время горнодобывающая промышленность в глобальном масштабе столкнулась с уникальным комплексом проблем. С одной стороны, конкуренция на мировом рынке сырья заставляет добывающие компании снижать издержки, для чего требуется постоянный рост производительности, продление периода эксплуатации предприятий с постепенным сокращением удельных капитальных затрат. С другой стороны, современные экологические требования в наиболее развитых странах – в Западной Европе, США, Японии, – таковы, что глобальное развитие промышленности должно сопровождаться снижением потребления энергии и сокращением выбросов углекислого газа. Наряду с этим, с каждым годом возрастают требования к безопасности труда и уменьшению количества несчастных случаев. Несмотря на то, что с годами добыча полезных ископаемых стала намного безопаснее, число несчастных и

смертельных случаев все еще находится на неприемлемом для современной промышленности уровне [2]. К этому добавляется стареющая рабочая сила. Как и в других отраслях, средний возраст занятых в мировой горнодобывающей промышленности постепенно увеличивается [3], и ушедшие на пенсию работники уходят с ценными знаниями и опытом. Ситуация усугубляется удаленным от современных технологических центров расположением многих добывающих предприятий, в особенности в странах третьего мира, что затрудняет привлечение высококвалифицированных специалистов, набор и сохранение компетентного персонала.

Консенсус-мнение экспертов относительно перспектив развития мировой горнодобывающей промышленности таково, что весь сектор добычи минерального сырья сегодня находится под давлением [4-5]. В краткосрочной перспективе падение цен на сырьевые товары сжимает денежные потоки международных корпораций на 12-20%, а



Рис. 1. Динамика производительности минерально-сырьевого комплекса и цен на некоторые виды сырья в мире (2008 г. взят за 100%).

национальных холдингов и предприятий – на 25-30% [6]. Это сдерживает инвестиции в технологическую модернизацию горнодобывающих предприятий, в результате чего в последнее десятилетие наблюдается снижение производительности труда в мировом добывающем секторе (Рис. 1 – построен авторами по данным [6-7]).

Как следует из Рис. 1, нестабильные мировые цены на такие твердые полезные ископаемые, как уголь и железная руда, хотя и периодически демонстрируют тенденцию к росту, не способны оказать устойчивую поддержку росту производительности глобального минерально-сырьевого комплекса (в 2019 г. цены на некоторые сорта угля снизились до 40% в отдельных регионах мира [8]). Поэтому в 2012 г. снижение производительности труда в нем составило 22% от 2008 г., что сократило общий приток инвестиций на 11%. Постепенное восстановление производительности к 2014 г. связано с тем, что многие горнодобывающие компании, отработав доступные «дешевые» запасы, приступили к извлечению сырья более низкого качества и пролонгации эксплуатации удаленных предприятий и продления сроков использования имеющегося оборудования.

Потенциал для достижения нового прорыва в повышении производительности труда и, соответственно, конкурентоспособности минерально-сырьевого сектора в глобальной экономике определяется его глубокой технологической модернизацией. Она должна снять существующие ограничения в организации и управлении процессами горных работ. При этом удельная производительность применяемого оборудования возрастает на 10-12% каждые 5 лет, что особенно характерно для открытого способа добычи полезных ископаемых [9].

Новые способы организации открытых горных работ в настоящее время становятся доступным для отрасли благодаря цифровым и технологическим инновациям, которые могут трансформировать ключевые аспекты открытой геотехнологии. Вектором, задающим перспективы развития открытой геотехнологии в 21 в., является технологическая конвергенция (от лат. *convergence* – схождение, соединение) которая путем слияния технологий из разных отраслей образует единую область знания. Наиболее передовой формой технологической конвергенции является NBICS-конвергенция, объединяющая информационные технологии и искусственный интеллект, а также био- и нанотехнологии [10-11].

Безусловно, слияние инженерных практик в областях современных биотехнологий и производства компонентов с новыми свойствами на наноуровне находят свое место в минерально-ресурсном секторе, в частности, в выпуске новых горюче-смазочных материалов. Вместе с тем, ключевым направлением конвергенции в отраслях горнодобывающего комплекса, по нашему мнению, является соединение информационных и когнитивных

технологий с традиционной открытой геотехнологией. Такая конвергентная геотехнология призвана дать ответ на ряд вызовов, стоящих перед современным минерально-ресурсным комплексом:

1. Оптимизация добычи твердых полезных ископаемых в условиях нарастания нестабильности спроса на энергоносители, металлургическое сырье и строительные материалы в странах Евросоюза и в мире в целом, путем более тесной привязки организации горных работ на конкретных предприятиях с выпуском конечного продукта – энергии, металлов, химических компонентов, с темпами капитального строительства.

2. Сокращение влияния нестабильности мирового и локальных рынков сырья на закупки разрезами материальных ресурсов и объемы добычи путем совершенствования системы планирования – как стратегического, так и оперативного, с помощью учета максимально возможного числа факторов и интеграции горно-геологического и производственно-экономического моделирования горных работ.

3. Автоматизация управления процессами открытых горных работ на конкретном предприятии, преследующая комплекс целей, включающий повышение безопасности труда, повышение качества взрывного дробления горных пород, повышение производительности оборудования и пр.

В целом автоматизация не является чем-то новым для добычи полезных ископаемых, но автоматизация, применяемая на горных предприятиях, как правило, является более базовой, чем в других отраслях. Она часто ограничивается простым управлением двигателями, оборудованием или определенными частями процессов. Вместе с тем, конвергенция информационных, когнитивных технологий и геотехнологии идет дальше, чем создание автоматизированных систем контроля и беспилотных машин и механизмов [12]. Эта конвергенция связывает полученную в режиме реального времени производственно-экономическую, горно-геологическую, экологическую информацию, принятие компьютерами решений, основанных на анализе сотен тысяч вариантов (суперкомпьютеры, успешно применяемые в авиации, медицине, железнодорожном транспорте), внесение изменений в сложные планы, корректируя при этом тысячи параметров и показателей, использование автоматизированных контроллеров для управления оборудованием.

Основные направления развития конвергентной открытой геотехнологии включают в себя следующие:

- системы искусственного интеллекта в управлении карьером в целом, и отдельными комплексами в частности. К примеру, большое число инженерных и управленческих решений связано с изменчивостью качества извлекаемого угля или руды. Поэтому учет всех факторов, влияющих на сырье от забоя до обогащательной фабрики и далее – к

потребителю, требует анализа больших массивов данных и генерации множества сценариев принятия решений, что требует создания нейролинки – сетевой формы организации вычислений технологических параметров, расстановки и определения режима работы оборудования, его загрузки во времени;

- интеграция процессов открытых горных работ на основе сверхбыстрого обмена, анализа информации и выполнения комплексных расчетов в режиме реального времени. Это означает широкое распространение дигитализации (от англ. Digit – цифра) основных и вспомогательных процессов горных работ, создание сложных и связанных цифровых моделей, позволяющих оптимизировать технологии добычи и вскрыши таким образом, чтобы вносимые изменения не приводили к противоречивому результату и не снижали производительность. В основе дигитализации горных работ лежит массовое применение телеметрии и мобильных сенсоров, позволяющих не только отслеживать процессы в режиме реального времени, но и строить достоверные прогнозы, опираясь на облачный анализ данных;

- автоматизированное планирование горных работ, формирование плановых заданий и их выполнение в процессе широкого применения устройств и оборудования, объединяемых нейролинком – системой искусственного интеллекта. Она позволяет осуществлять автономную настройку, самодиагностику и регулирование рабочих параметров, с обеспечением полной прозрачности выполнения планов в реальном времени для операторов. Это обеспечивает видимость ресурсов и объемов извлекаемой горной массы по всему разрезу;

- создание центров удаленного управления добычей полезного ископаемого и поставками его потребителям. На примере информационной интеграции энергетических и угледобывающих компаний в Евросоюзе можно отследить развертывание автоматизации управления добычей угля и выработки электроэнергии. Когда уровень запаса угля на электростанции становится низким, на автоматизированные шахты и разрезы поступает информация о необходимости осуществить отгрузку угля, в результате чего через единую центральную диспетчерскую корректируются текущие и годовые планы горных работ. При этом высокий уровень визуализации удаленного управления позволяет объединять и сводить к простым и понятным показателям весь массив информации, поступающей от множества сенсоров. В частности, в минерально-ресурсном секторе экономики Германии в 2015 г. каждый день генерировалось больше информации, чем в целом в течение 2000 г. [13] Это означает возможность проектирования и создания более глубоких карьеров и шахт без возрастания технических, экономических рисков и снижения уровня безопасности труда.

Реализация данных направлений развития конвергентной открытой геотехнологии подразумевает широкое внедрение ряда информационных и когнитивных технологий («инфо-когно» конвергенция), интегрируемых в процессы добычи твердых полезных ископаемых.

Во-первых, это технологии искусственного интеллекта, включающие прогрессивные методы машинного обучения и улучшенных статистических методов для интеграции данных. Они помогают превратить обширные наборы данных в понимание вероятности будущих событий. Например, сложные задачи управления технологиями добычи полезных ископаемых, такие как геологическое моделирование, оперативное планирование, прогнозирование аварий техники, природных и техногенно-обусловленных нарушений в земной коре, все чаще становятся предметом интеллектуальных алгоритмов статистики и оптимизации.

Во-вторых, это прогрессивные технологии человеко-машинного взаимодействия при неизбежном сохранении присутствия человека в зоне ведения горных работ, которое, тем не менее, постоянно сокращается. Одним из примеров являются «умные» защитные очки. Они дают инструкции работникам шахт и разрезов или персоналу, выполняющему ремонт оборудования, исходя из онлайн-оцифровки и автоматического анализа поступающей видео- и фото-информации при помощи нейролинки. Использование таких очков, создаваемых австрийской компанией «Е-Майн Системз» (E-Mine Systems), во многом повышает качество работы. Другой пример – спецодежда, которая включает в себя датчики, передающие инженерам данные об опасных условиях и физическом состоянии самих работников, что улучшает показатели безопасности труда.

В-третьих, цифро-физическое преобразование. Достижения в области робототехники делают полностью автономное оборудование более доступным и эффективным. В сфере производства стоимость промышленных роботов упала на 70% с 1990 года, в то время как затраты на оплату труда в Германии выросли на 80% за тот же период [13]. В горнодобывающей промышленности использование оборудования дистанционного управления и вспомогательного управления становится обычным явлением, а развертывание полностью автономного оборудования становится все более популярным. В частности, выпуск полностью автономных погрузчиков для подземных и открытых горных работ с 2013 г. осуществляют такие компании, как Австралийский центр промышленных роботов (Australian Centre for Field Robotics), «Сэндвик Майнинг» (Sandvik Mining), «Атлас Копко» (Atlas Copco). Полностью автономные карьерные автосамосвалы с 2013 г. выпускают «Коматсу АЭджЭс» (Komatsu AHS), к 2019 г. будет выпущено более 250 самосвалов [14].

В-четвертых, «Интернет вещей» (Internet of

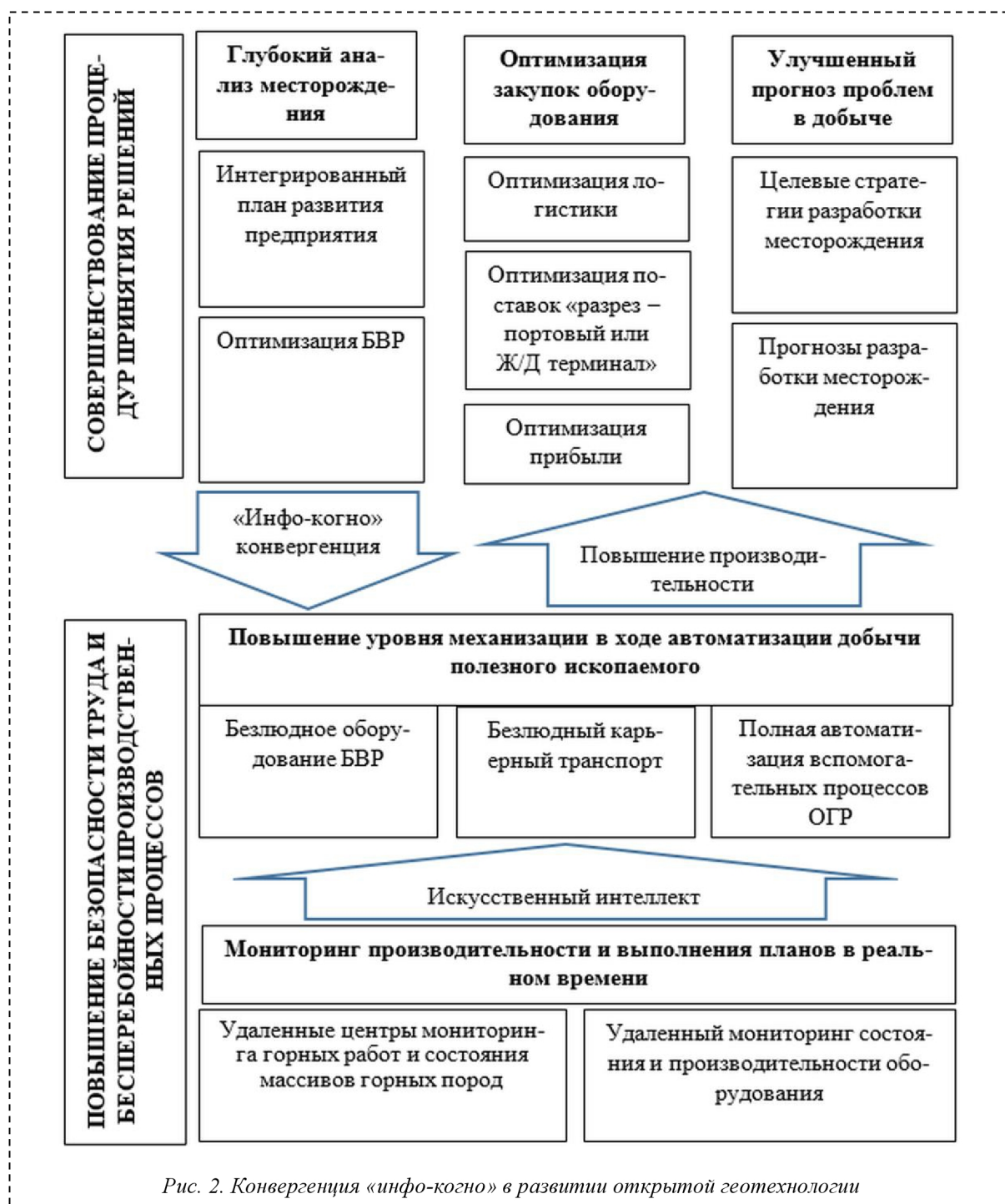


Рис. 2. Конвергенция «инфо-когно» в развитии открытой геотехнологии

Things) как часть развивающейся технологической платформы современной промышленности «Индустрия 4.0», активно внедряемой в горнодобывающих отраслях во всем мире. Наряду с широким внедрением различных телеметрических систем и сенсоров в управление оборудованием и обеспечение безопасности труда, в последние годы получили свой страт методы анализа гравитационного поля Земли с использованием беспилотников и дронов в геологоразведке (технология «VK1 airborne gravity gradiometer», разработанная в Университете Западной Австралии (University of Western Australia)), методы лазерного 3D-

сканирования («КАЕ Сировижн» (CAE Sirovision), АРАНЦ (ARANZ), «Авизо Файр» (Avizo Fire), «Эй-БиБи» (ABB) и «Атлас Копко» (Atlas Copco)). Также была разработана инновационная система интеграции различных видов автономного оборудования для крупных шахт и карьеров на основе искусственного интеллекта, включающая платформу автоматизации System 800xA и горные машины Atlas Copco. Интеллектуальная система автоматизации ABB 800xA способна без участия человека управлять автономным оборудованием в большинстве технологических операций: распределенными системами загрузки бурового, эксгумационного и

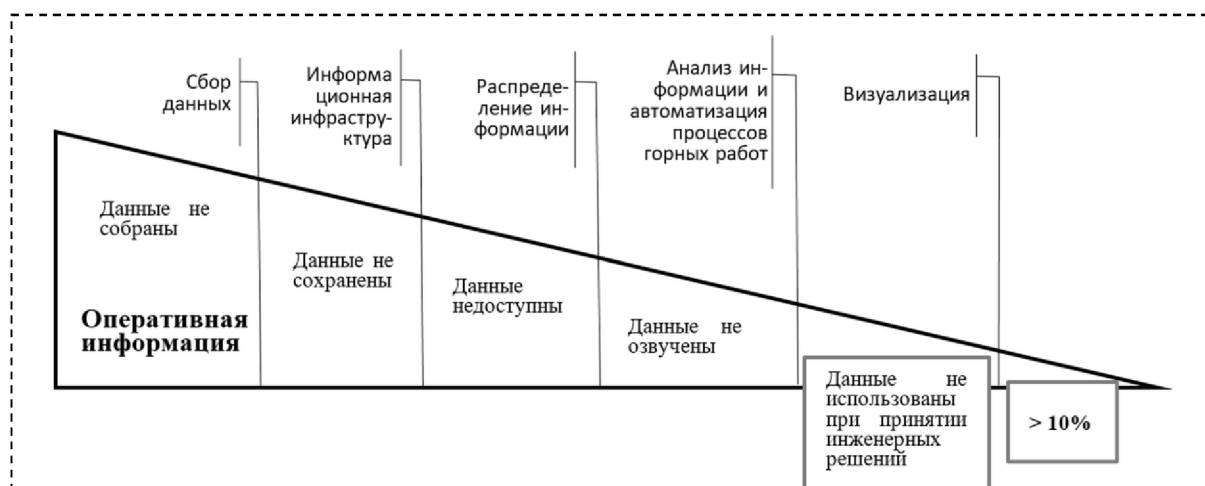


Рис. 3. Информационные потери в реализации технологических процессов горнодобывающих предприятий

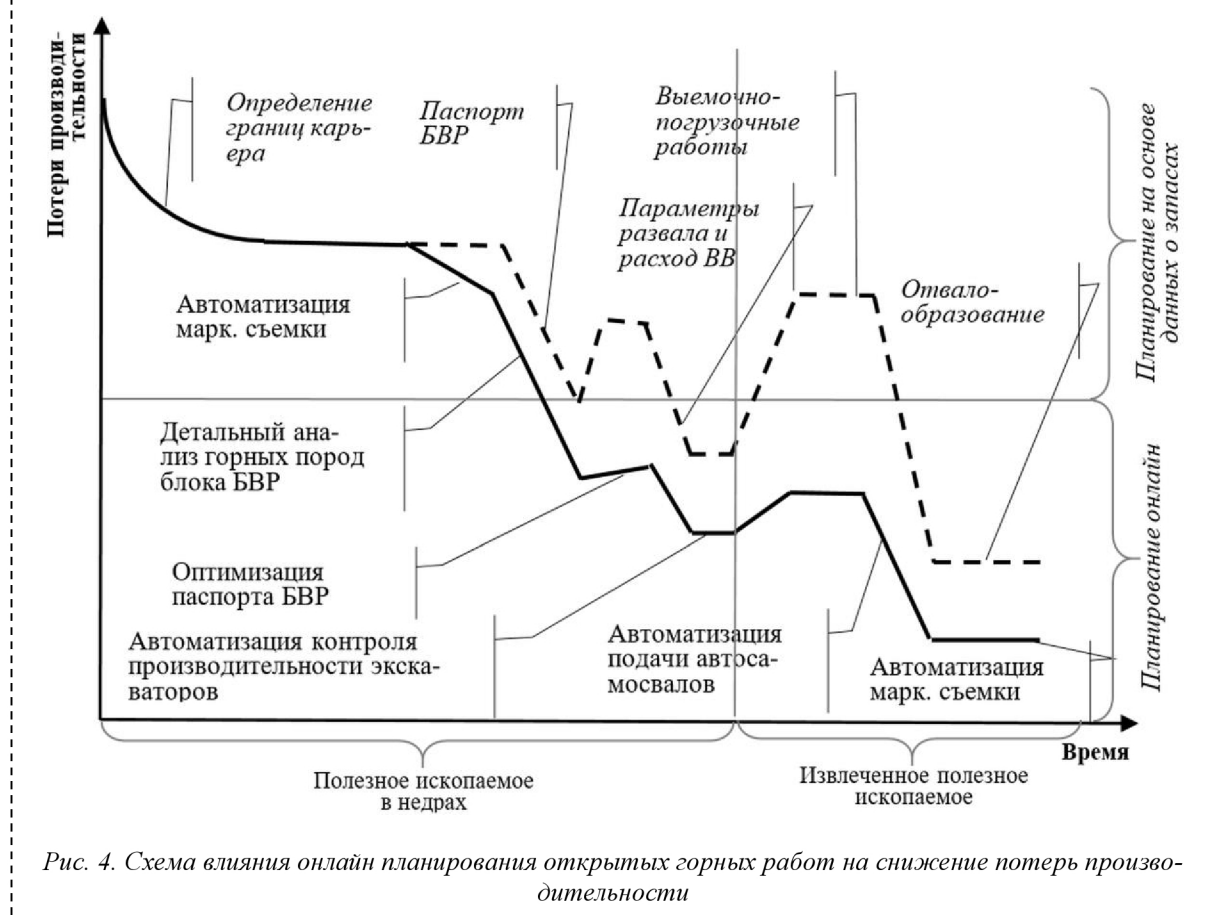


Рис. 4. Схема влияния онлайн планирования открытых горных работ на снижение потерь производительности

транспортного оборудования (главным образом, конвейерами), системами безопасности и электрооборудованием (приводы и двигатели), а также с системами планирования производства, управления питанием, технического обслуживания, планирования поставок ресурсов на предприятие и систем документации. Система может интегрировать разных пользователей, визуализировать состояние участков горных работ «живым» видео, понимать голосовые системы команд и использовать

системы громкой связи, а также подключать веб-приложения компьютеров и смартфонов по технологиям 4G и 5G.

Особо следует отметить расширение сферы применения «нано-био-» конвергентных технологий в горном деле, в частности, применение медьпоедающих бактерий для разработки некондиционных запасов меди с последующим химическим извлечением полезного компонента (разработки университета Сан-Паулу, Бразилия).

Взятые вместе, конвергентные составляющие открытой геотехнологии способны обеспечить фундаментальный сдвиг в производительности минерально-сырьевого комплекса. Схема применения технологической конвергенции «инфо-когно» в развитии открытой геотехнологии с целью повышения производительности труда горнодобывающих предприятий отражена на Рис. 2.

Представленная на Рис. 2 схема технологической конвергенции в горнодобывающих отраслях отражает процесс повышения производительности как результат глубокой информатизации процессов добычи полезных ископаемых и автоматизации на основе искусственного интеллекта, уменьшения неопределенности в принятии инженерных и производственно-экономических решений [15].

Соединение технологий дигитализации технологических процессов и управления на основе искусственного интеллекта содержит в себе решение проблемы недоиспользования информации в процессе организации производства на горнодобывающих предприятиях, когда доступной для инженеров и руководителей оказывается не более 10% информации [15] (Рис. 3).

Решение проблемы потери информации о состоянии горных работ, запасов полезного ископаемого и его добыче, а также рынка сырья заключается в комплексной дигитализации и автоматизации всех технологических процессов. В результате сокращения потерь информации, ускорение и повышение качества ее анализа манифестирует в сокращении потерь плановой производительности и достижении ее фактическими значениями максимально возможного уровня. Для этого, в свою очередь, необходим переход от существующей системы планирования работ, исходя из имеющихся запасов полезного ископаемого к системе планирования онлайн. Она основана на интеграции всех автоматизированных процессов – детальной разведки месторождения и маркшейдерской съемки, буровзрывной подготовки (БВР), выемочно-погрузочных и транспортных операций, а также отвалообразования. Внедрение методов автоматизированного планирования горных работ в режиме реального времени на основе искусственного интеллекта позволяет повысить производительность, оптимизируя и интегрируя данные геологоразведки и маркшейдерской съемки, прочности пород блока буровзрывных работ (БВР), продолжительности циклов экскавации и обмена автосамосвалов, положения отвалных работ [16] (Рис. 4).

Диаграмма, отображенная на Рис. 4, свидетельствует о более глубоком анализе ресурсной базы при использовании комбинирования информации о геологической модели залежи с данными бурения скважин и онлайн-отбором проб. Интеграция информации о недрах, процессах извлечения, транспортировке и складировании вскрышных пород и полезного ископаемого, а также его дальнейшего использования в один универсальный банк данных

способна оптимизировать буровзрывные работы, оперативно корректировать расчетные параметры буровзрывных и выемочно-погрузочных работ, подачу транспорта, сократить потери полезного ископаемого и избежать снижения его качества. Конвергенция процессов получения данных в реальном времени и интеллектуальные аналитические механизмы делают возможным планирование и принятие решений, которые максимизируют использование оборудования во времени и его производительность. Сочетание традиционной диспетчеризации с интеллектуальными алгоритмами позволяет внедрить алгоритмы кластеризации горных работ и выделить кластеры высокой и низкой производительности, частых и редких отказов оборудования.

Все это позволяет создать фундамент практически полной автоматизации большинства процессов открытых горных работ. Если сегодня автоматизированный автомобильный карьерный транспорт и бурение полномасштабно внедряются в Австралии, Канаде, США, то автоматизированные взрывные и выемочно-погрузочные работы находятся на стадии испытаний. Тем не менее, ключевым аспектом их внедрения является интеграция постоянно возрастающих потоков информации и систем искусственного интеллекта для ее анализа и воплощения в принятии инженерных решений. Предполагается, что внедрение конвергентных технологий открытой добычи твердых полезных ископаемых позволит увеличить производительность труда на 40% и снизить операционные издержки на 30% [17], что будет способствовать стабилизации развития как глобального минерально-сырьевого сектора, так и горнодобывающих отраслей в ресурсо-обеспеченных странах.

В заключении следует отметить, что неопределенность, априори свойственная горному делу, его зависимость от геологических особенностей залежей, устойчивости природных и техногенных массивов, перебох в работе оборудования высокой удельной мощности, человеческого фактора, сегодня дополняется неопределенностью будущего спроса на минеральное сырье, в особенности на ископаемые энергоносители. Это, наряду с постепенным истощением эксплуатируемых с середины 20 в. месторождений и усложнением горно-геологических условий добычи твердых полезных ископаемых, послужило снижению производительности многих горнодобывающих предприятий и сделало их беззащитными перед кризисными процессами тридцатилетнего сырьевого суперцикла. Поэтому ответом на нестабильный мировой спрос на сырье, европейские тенденции декарбонизации, рециклинга и бережливого производства со стороны минерально-ресурсного сектора добывающих стран должна стать его глубокая технологическая модернизация, совершенствование геотехнологии в направлении технологической конвергенции. В ближайшем будущем технологии добычи

полезных ископаемых будут все больше сливаться с информационными и когнитивными технологиями, которые решают те же проблемы, что и сегодня, но делают это более безопасно и с большей производительностью. Горнодобывающие компании, которые осознают этот технологический сдвиг

и лучше ориентируются в предстоящих изменениях, смогут преодолеть кризисные процессы и избежать банкротства в условиях нестабильных цен и спроса на минеральные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Субханкулова, Р. Р. Мировой спрос на энергоресурсы до 2035 г. Прогнозы ОПЕК, МЭА и РЭА // Институт Ближнего Востока. – 2013. – № 11. – С. 56-67.
2. Стась, Г. В. Аварийность и травматизм в горнорудной и нерудной промышленности, на объектах подземного строительства и угольной промышленности / Г. В. Стась, Е. В. Смирнова // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2015. – № 2. – С. 26-30.
3. NMA coal industry survey. Profile of the U.S. Coal Miner, 2016. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://nma.org/wp-content/uploads/2016/09/coal_miner_profile_2016.pdf – [05.07.2019].
4. Самарина, В.П. Горнодобывающая промышленность России на мировом рынке: Современные тенденции // ГИАБ. – 2017. – № 3. – С. 209-216.
5. 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> – [05.07.2019].
6. Andrzejewski, M. Impact of changes in coal prices and CO2 allowances on power prices in selected European Union countries - correlation analysis in the short-term perspective / M. Andrzejewski, P. Dunal, L. Poplawski // Acta Montanistica Slovaca. – 2019. – V 24(1). – P. 53-62.
7. Ryttoft, C. Mine of the future // ABB Review. – 2014. V 3/14. – P. 7-12.
8. УГМК. Динамика и прогноз мировых цен на уголь. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ugmk.com/analytics/surveys_major_markets/coal/ – [05.07.2019].
9. Объем мирового рынка горнопромышленного оборудования к 2022 году до-стигнет 156 млрд. долл. // Горное дело. – 2016. – № 3(9). – С. 12-18.
10. Логинов, Е. Л. Формирование организационных моделей NBICS-конвергенции в рамках единой научно-технологической цепочки / Е. Л. Логинов, В. А. Зеленский // РППЭ. – 2015. – № 4(54). – С. 28-35.
11. Du Preez, S. New tech trends driving IT/OT convergence in mining in Africa // African Mining Brief. – 2014. – V 2(12). – P. 16-22.
12. 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.
13. Nadipuram, V. Bigger is better // ABB Review. – 2014. – V 3(14). – P. 25-29.
14. Antworpe, L. Ten technologies with the power to transform mining // Mining Technologies. – 2018. – V 4. – P. 55-64.
15. 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> – [05.07.2019].
16. Durrant-Whyte, H. "Rise of the machines" (Maurice Lubbock Memorial Lecture, Oxford University, Oxford, United Kingdom, May 14, 2015). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://podcasts.ox.ac.uk/rise-machines> – [05.07.2019].
17. Rowland, J. Be a (technology) leader // World Coal. – 2014. – V 6. – P. 3-15.

REFERENCES

1. Subhankulova, R. R. Mirovoj spros na energoresursy do 2035 g. Prognozy OPEK, MEA i REA // Institut Blizhnego Vostoka. – 2013. – № 11. – S. 56-67.
2. Stas', G. V. Avarijnost' i travmatizm v gornorudnoj i nerudnoj promyshlennosti, na ob'ektah podzemnogo stroitel'stva i ugol'noj promyshlennosti / G. V. Stas', E. V. Smirnova // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. – 2015. – № 2. – S. 26-30.
3. NMA coal industry survey. Profile of the U.S. Coal Miner, 2016. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: https://nma.org/wp-content/uploads/2016/09/coal_miner_profile_2016.pdf – [05.07.2019].
4. Samarina, V.P. Gornodobyvayushchaya promyshlennost' Rossii na mirovom rynke: Sovremennye tendencii // GIAB. – 2017. – № 3. – S. 209-216.

5. 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> – [05.07.2019].
6. Andrzejewski, M. Impact of changes in coal prices and CO2 allowances on power prices in selected European Union countries - correlation analysis in the short-term perspective / M. Andrzejewski, P. Dunal, L. Poplawski // *Acta Montanistica Slovaca*. – 2019. – V 24(1). – P. 53-62.
7. Rytøft, C. Mine of the future // *ABB Review*. – 2014. V 3/14. – P. 7-12.
8. UGMK. Dinamika i prognoz mirovyh cen na ugol'. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: https://www.ugmk.com/analytics/surveys_major_markets/coal/ – [05.07.2019].
9. Ob"em mirovogo rynka gornopromyshlennogo oborudovaniya k 2022 godu dostignet 156 mlrd. doll. // *Gornoe delo*. – 2016. – № 3(9). – S. 12-18.
10. Loginov, E. L. Formirovanie organizacionnyh modelej NBICS-konvergencii v ramkah edinoj nauchno-tehnologicheskoy cepochki / E. L. Loginov, V. A. Zelenskij // *RPPE*. – 2015. – № 4(54). – S. 28-35.
11. Du Preez, S. New tech trends driving IT/OT convergence in mining in Africa // *Afri-can Mining Brief*. – 2014. – V 2(12). – P. 16-22.
12. 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. – № 5.
13. Nadipuram, V. Bigger is better // *ABB Review*. – 2014. – V 3(14). – P. 25-29.
14. Antworp, L. Ten technologies with the power to transform mining // *Mining Technologies*. – 2018. – V 4. – P. 55-64.
15. 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> – [05.07.2019].
16. Durrant-Whyte, H. "Rise of the machines" (Maurice Lubbock Memorial Lecture, Oxford University, Oxford, United Kingdom, May 14, 2015). [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://podcasts.ox.ac.uk/rise-machines> – [05.07.2019].
17. Rowland, J. Be a (technology) leader // *World Coal*. – 2014. – V 6. – P. 3-15. & Company, 2015. – Rezhim dostupa: <https://www.mckinsey.it/idee/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity> – [05.07.2019].

Поступило в редакцию 22.06.2019

Received 22 June 2019