

Цифровая трансформация и технологическая независимость горнодобывающей отрасли

С.В. Лукичев✉, О.В. Наговицын

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация
✉ s.lukichev@ksc.ru

Резюме: Процесс цифровой трансформации имеет достаточно длинную историю, но в последние годы в связи с бурным развитием вычислительной техники, программного обеспечения и средств коммуникации он достиг уровня, который позволяет сделать качественный скачок в самой технологии горного производства. Цифровые технологии позволяют не только объединить в едином цифровом пространстве данные и модели, но и придать им динамику, превращая модели в цифровое подобие реальных объектов. Таким образом, способ организации цифрового пространства горнодобывающего предприятия в значительной степени определяет уровень цифровой трансформации производства. Можно выделить четыре основных этапа цифровой трансформации горной отрасли: от автоматизации решения отдельных задач до цифрового двойника горнодобывающего предприятия. Наличие на предприятии единого цифрового пространства позволяет реализовать ряд перспективных цифровых технологий, обеспечивающих качественно новый уровень управления горными работами и обеспечения их безопасности. Важнейшим вопросом цифровой трансформации горнодобывающей отрасли, особенно в условиях санкций, становится обеспечение технологического суверенитета страны. Нынешняя ситуация в области программного обеспечения показывает оборотную сторону глобализации, которая, по сути, привела к монополизации российского рынка западными софтверными компаниями. Решение этой проблемы – переход на отечественное программное обеспечение. И это задача не только государства, но и предприятий, заинтересованных в стабильном функционировании своих производств и росте квалификации своих сотрудников, потому что отечественные разработчики опираются в первую очередь на знания и опыт российских специалистов, вовлекая их в инновационный процесс.

Ключевые слова: цифровые технологии, цифровая трансформация, цифровой рудник, цифровой двойник, технологическая независимость, программное обеспечение, полезные ископаемые

Для цитирования: Лукичев С.В., Наговицын О.В. Цифровая трансформация и технологическая независимость горнодобывающей отрасли. *Горная промышленность*. 2022;(5):74–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-74-78>

Digital transformation and technological independence of the mining industry

S.V. Lukichev✉, O.V. Nagovitsyn

Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation
✉ s.lukichev@ksc.ru

Abstract: The main modern trend that determines the development direction of the mining technology is the digitalization of both the engineering support tools for mining operations and the means of controlling the technological processes of mining production. The process of digital transformation has a rather long history, but in recent years, due to the rapid development of computer technology, software and communication tools, it has reached a level that allows making a qualitative leap in the mining technology itself. Digital technologies make it possible not only to combine data and models in a single digital space, but also to give them dynamics, turning models into a digital likeness of real objects. Thus, the way of organizing the digital space of a mining enterprise largely determines the level of digital transformation of production. There are four main stages in the digital transformation of the mining industry: from automating the solution of individual tasks to the digital twin of a mining enterprise. The presence of a single digital space at the enterprise makes it possible to implement a number of promising digital technologies that provide a qualitatively new level of mining management and ensuring their safety. The most important issue of the digital transformation of the mining industry, especially in the context of sanctions, is to ensure the technological sovereignty of the country.

The current situation in the field of software shows the other side of globalization, which, in fact, has led to monopolization of the Russian market by the Western software companies. The solution to this problem is the transition to domestic software. And this is not only the task of the state, but also that of enterprises interested in the stable functioning of their industries and the growth of qualifications of their employees, because domestic developers rely primarily on the knowledge and experience of Russian specialists, involving them in the innovation process.

Keywords: digital technologies, digital transformation, digital mine, digital twin, technological independence, software, minerals

For citation: Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V. Digital transformation and technological independence of the mining industry. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):74–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-74-78>

Введение

Основным современным трендом, определяющим направление развития горной технологии, является цифровизация как инструментов инженерного обеспечения горных работ, так и средств управления технологическими процессами горного производства. Процесс цифровой трансформации имеет достаточно длинную историю, но в последние годы в связи с бурным развитием вычислительной техники, программного обеспечения и средств коммуникации он достиг уровня, который позволяет сделать качественный скачок в самой технологии горного производства.

В основе любого материального производства лежит идея получения конечного продукта с минимальными затратами, что предполагает наличие максимально полной информации о свойствах предмета производства и технологии получения из него продукта. Информация используется для создания моделей продукта и технологического процесса его получения. В доцифровой период средой для хранения данных и создания моделей являлись бумажные носители, что не позволяло объединить данные и модели в едином пространстве, а сам процесс работы с ними был связан с существенными временными и трудовыми затратами на выполнение даже относительно небольших проектов. Цифровые технологии позволили не только объединить в едином цифровом пространстве данные и модели, но и придать им динамику, превращая модели в цифровое подобие реальных объектов. Таким образом, способ организации цифрового пространства горнодобывающего предприятия в значительной степени определяет уровень цифровой трансформации производства.

Этапы цифровой трансформации

Можно выделить четыре основных этапа (пройденны, проходятся, будут проходиться) цифровой трансформации горной отрасли (рис. 1), что наиболее чётко прослеживается

на крупных горнодобывающих предприятиях, давно вовлечённых в этот процесс:

1-й этап. **Автоматизация решения отдельных задач.** Характерен появлением на рынке большого количества компьютерных программ, не связанных между собой и решающих отдельные задачи горного производства. Результат – локальная автоматизация рабочих процессов, в целом не влияющая на собственно технологию инженерного обеспечения горных работ.

2-й этап. **Комплексное решение групп задач.** Появляются информационные системы, содержащие цифровые инструменты для решения тематически объединённых групп задач в области геологии, маркшейдерии, планирования горных работ, диспетчеризации и т.п. Результат – автоматизация рабочих процессов в отдельных цифровых пространствах, формируемых каждой из систем, между которыми осуществляется обмен данными.

3-й этап. **Цифровая технология инженерного обеспечения горных работ.** Особенностью этого этапа является унификация цифровых инструментов (желательно на базе единой цифровой платформы), минимизирующая потери времени, связанные с обменом и трансформацией данных перед их использованием. Результат – функционирование автоматизированных рабочих мест специалистов в едином цифровом пространстве. Реализация этого этапа означает достижение уровня **Цифрового рудника** – способа представления объектов и процессов горной технологии в виде цифровых моделей, описывающих свойства и поведение реальных объектов в едином цифровом пространстве предприятия. Максимально достижимым результатом данного этапа является формирование бесшовной технологии работы с цифровыми данными.

4-й этап. **Цифровой двойник – Цифровой рудник,** имеющий коммуникационные связи в on-line режиме между реальными объектами горной технологии (геологическая

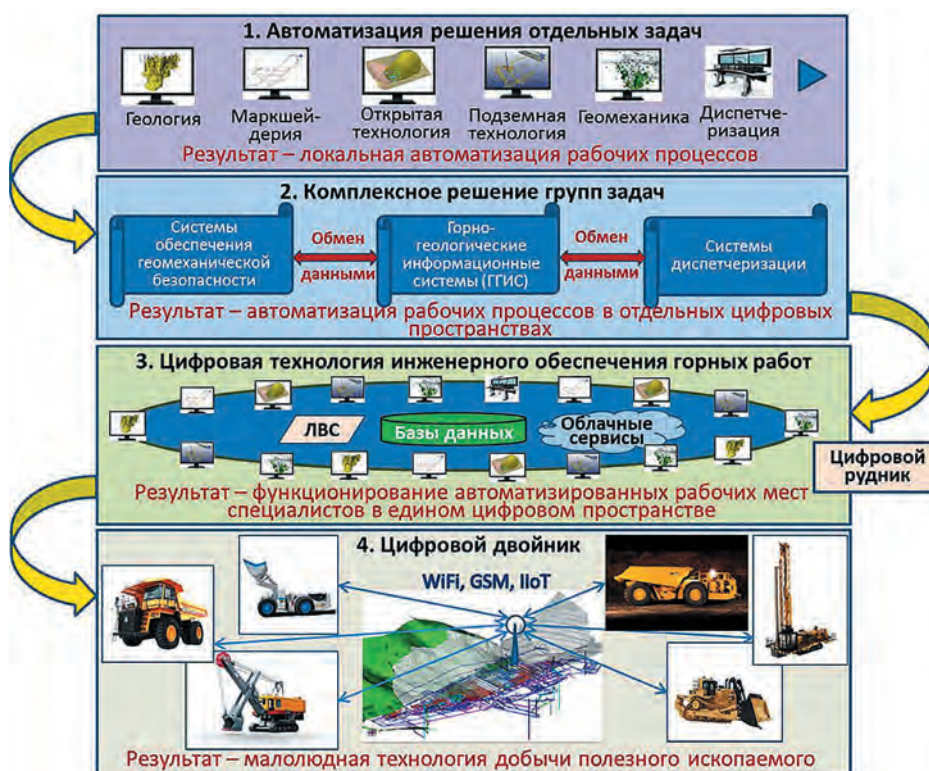


Рис. 1
Этапы цифровой трансформации горного производства

Fig. 1
Stages in the digital transformation of mining operations

среда, горные выработки, технологическое оборудование, мониторинговые системы и в какой-то степени персонал) и их цифровыми моделями [1]. По сути, создание Цифрового двойника и является конечной целью цифровой трансформации горнодобывающего предприятия, в результате которой формируется технологическая основа для глубокой автоматизации и роботизации производства, а следовательно, создаются условия для перехода на малолюдную технологию добычи ПИ.

Если оценивать, на каком этапе трансформации в настоящее время находятся отечественные горнодобывающие предприятия, то в основном – это 2-й этап. При этом некоторые находятся в стадии перехода от 1-го этапа ко 2-му, а наиболее продвинутые предприятия двигаются в направлении к 3-му этапу.

Перспективные цифровые технологии

По оценкам экспертов [2–4], мировая экономика в настоящее время находится в стадии формирования нового технологического уклада, получившего название «Промышленность 4.0» или «Цифровая экономика». Его характерным признаком является появление новых технологий и совершенствование существующих на основе широкого использования методов работы с цифровой информацией, что применительно к решению задач горной технологии невозможно эффективно реализовать без организации единого цифрового пространства предприятия. Можно перечислить те из технологий, которые уже находят или найдут в ближайшее время применение в горной промышленности (табл. 1).

Таблица 1
Технологии цифровой трансформации горной промышленности

Table 1
Digital transformation technologies in the mining industry

Цифровые технологии	Оказываемый эффект	Потенциальные направления использования
Дистанционное управление и роботизация	Повышение производительности труда. Вывод персонала с мест ведения работ в опасных условиях шахт и карьеров. Повышение операционной эффективности за счет сокращения персонала и оптимизации технологических процессов	Автоматизация и роботизация основных и вспомогательных технологических процессов ¹ [5]. Мониторинг и инспекция состояния открытых и подземных выработок с использованием дистанционно управляемых аппаратов
Большие данные и предиктивная аналитика	Повышение безопасности горных работ за счёт повышения достоверности прогноза изменения состояния природно-технической системы. Снижение издержек за счёт рациональной организации производства и увеличения продолжительности безаварийной работы оборудования	Планирование горных работ в многофакторной постоянно изменяющейся экономико-природно-технологической среде. Обслуживание и ремонт горного оборудования на основе данных телеметрии, переход от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по состоянию. Прогноз состояния природно-технической системы на предмет выявления опасных ситуаций
Виртуальная, дополненная, расширенная реальности	Повышение эффективности работы персонала за счет применения виртуальных симуляторов машин в учебном процессе. Повышение безопасности работы и сокращение времени принятия решения за счёт использования программно-технических средств дополненной реальности, предоставляющей специалисту скрытую от его глаз информацию о выполняемых рабочих операциях и технологических объектах	Обучение и тренинги операторов горной техники действиям в штатных и нештатных ситуациях. Интерактивные руководства по ремонту и обслуживанию машин и механизмов в момент ведения работ. Информирование персонала об объектах рабочего окружения и нештатных ситуациях. Обозначение виртуальных зон (контактов литологических разностей, сортов ПИ, тектонических нарушений, опасных техногенных событий). Визуализация виртуальных моделей объектов и событий вне зоны прямой видимости (например: выработок, смежных с той, где находится человек; пробуренных и запроектированных скважин)
Промышленный Интернет вещей	Упрощение и стандартизация процесса интеграции устройств и оборудования в систему его контроля и дистанционного управления	Создание инфраструктуры сетей умных датчиков, включающих стационарные и подвижные объекты [6]. Переход на автоматизированное и роботизированное управление оборудованием в форме управления технологическими процессами. Создание цифровых двойников объектов горной технологии
Блокчейн и смарт-контракты	Обеспечение хранения информации о действиях всех участников бизнес-процесса в виде цепочки блоков, что снижает транзакционные издержки на документооборот. Повышение достоверности хранимых данных, некорректируемая история их изменений. Снижение риска недобросовестного использования информации. Сокращение финансовых, административных и временных издержек при заключении и выполнении договорных условий	Отслеживание цепочки поставок материальных ресурсов. Автоматическое исполнение смарт-контрактов с использованием технологии распределенных реестров при работе с подрядчиками и поставщиками, что обеспечивает цифровой документооборот. Выдача и закрытие наряд-заданий на выполнение работ в АСУ ТП

¹ Accelerating the Transition to Remote Mining Operations Utilizing Modern Industrial Controls. Available at: <https://www.globalminingreview.com/white-papers/emerson/accelerating-the-transition-to-remote-mining-operations-utilizing-modern-industrial-controls/> (accessed: 23.09.2022)

Цифровые технологии	Оказываемый эффект	Потенциальные направления использования
Искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение	Выявление закономерностей при обработке потоковой информации. Выработка наиболее эффективных технологических и организационных решений на основе анализа мониторинговой информации, рабочих практик, экономических результатов	Изучение геологии месторождения на основе распознавания образов при анализе фотоинформации. Машинное зрение для решения задач безопасности работы автономного оборудования. Речевые интерфейсы цифровых помощников и операторов горной техники. Контроль качества руды и выполняемых работ на основе распознавания образов. Планирование работы горнодобывающего предприятия с учётом факторов неопределённости (изменение стоимости запасов минерального сырья, изменение состава парка оборудования и персонала, возникновение опасных ситуаций в области промышленной безопасности и т.п.)
Облачные технологии	Снижение затрат на поддержание цифровой инфраструктуры хранения и обработки данных, программных компонентов и услуг. Повышение скорости обработки данных за счёт аренды высокопроизводительных вычислительных кластеров. Быстрое масштабирование вычислительных мощностей без необходимости модернизации собственной аппаратной инфраструктуры. Обеспечение доступа к информации из различных цифровых платформ и географически удалённых мест. Обеспечение коллективной работы с документами и проектами	Перенос цифровой инфраструктуры хранения и обработки данных в облако для распределённой обработки данных. Аренда дорогого ПО или сервисов для решения эпизодических задач. Передача решения ряда специальных задач на аутсорсинг

Технологическая независимость страны

Важнейшим вопросом цифровой трансформации горнодобывающей отрасли, особенно в условиях санкций, становится обеспечение технологического суверенитета страны. Связано это с тем, что цифровые технологии становятся основой управления производственными процессами добычи и обогащения ПИ. Если брать аналоги из живой природы, то это мозг и нервная система, без нормальной работы которых невозможно эффективное функционирование такой сложной природно-технической системы, как горное предприятие. Само по себе развёртывание и функционирование на предприятии цифровых систем, формирующих цифровую технологию, является непростым и дорогостоящим мероприятием, особенно если речь идёт о крупном производстве [7]. Связано это с необходимостью адаптации программного обеспечения (ПО) к условиям работы предприятия, а по сути – созданию цифровой технологии инженерного обеспечения горных работ, которая затем, в идеале, долгие годы будет поддерживаться и развиваться как специалистами предприятия, так и разработчиками ПО. В отличие от технологического оборудования переход на новое ПО взамен ранее установленного, особенно системообразующее (например – Горно-геологическая информационная система (ГГИС)), требует больших финансовых и временных затрат, что может существенно повлиять на результативность производства.

Существовавшая до недавнего времени практика, особенно на крупных предприятиях, широкого использования импортного ПО делает такие предприятия заложниками политической ситуации, когда отказ разработчика ПО от поддержки его функционирования и развития может привести не только к технологическому отставанию от аналогичных зарубежных производств, но и к нарушению в работе самого производства. Выход из этой ситуации очевиден – переход на российское ПО. Но и здесь не всё так просто, многолетняя ориентация на использование в отрасли импортного ПО привела к существенно-

му недофинансированию отечественных разработок, что сказалось как на количестве предлагаемых российских программных продуктов, так и на их функциональности. Достаточно посмотреть реестр российского программного обеспечения, из которого видно, что в области горного дела² представлены буквально единичные разработки, на базе которых можно реализовать полноценную цифровую технологию.

Правительство РФ, понимая недопустимость сложившейся ситуации, принимает определённые меры, одной из которых является создание Индустриальных центров компетенции (ИЦК)³, которые по отраслевому признаку формируют перечни программных продуктов и разработчиков, способных в короткое время за счёт бюджетного софинансирования создать конкурентоспособное ПО. У авторов статьи, которые на протяжении 25 лет занимаются разработкой российской ГГИС MINEFRAME⁴ [8] и понимают, насколько сложен процесс создания ПО, в этой связи вызывает некоторое недоумение закрытость процедуры формирования списка рекомендуемых к развитию/разработке программных продуктов. А учитывая то, что реализовать программу перехода на отечественное ПО для горной промышленности надо за короткое время, наиболее перспективным представляется не разработка ПО (в некоторых случаях практически с нуля), а использование тех программных продуктов, которые уже на сегодня имеют развитый функционал и команду разработчиков. Подобный подход позволит снизить риски и минимизировать финансовые затраты.

Заключение

Нынешняя ситуация в области ПО, в том числе и горного, показывает обратную сторону глобализации, которая, по сути, привела к монополизации российского рынка

2 <https://reestr.digital.gov.ru/>

3 <http://government.ru/orders/selection/401/45763/>

4 <http://mineframe.ru/>

западными софтверными компаниями. Этому в немалой степени способствовали не только экономические трудности 1990-х годов, когда прекратили существование или не смогли стартовать перспективные российские разработки, но и пренебрежительное отношение к отечественным разработкам потенциальных потребителей, когда престижным было закупать западное ПО, а не отечественное.

Особенностью создания любого высокотехнологичного продукта, к которым, несомненно, относится горное ПО, является формирование научной школы, обеспечивающей инновационный характер его развития, и наличие высококвалифицированной команды разработчиков,

реализующей научные идеи с использованием современных инструментов. И то, и другое создается годами и только с течением времени выходит на режим самовоспроизводства, поэтому важной задачей является поддержка таких научных школ и команд. И это задача не только государства, но и предприятий, заинтересованных в стабильном функционировании своих производств и росте квалификации своих сотрудников, потому что отечественные разработчики опираются в первую очередь на знания и опыт российских специалистов, вовлекая их в инновационный процесс.

Список литературы

1. Анистратов К.Ю. (ред.). *Открытые горные работы – XXI век. Справочник*. М.: ООО «Система максимум»; 2019. Т. 2. 872 с.
2. Yeates G. Технологическая революция в горной отрасли, или как «промышленность 4.0» изменит основы мировой добычи. *Золотодобыча*. 2017;(223). Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/11672>
3. Хэмилтон Д. *Взгляд в будущее или какие изменения грядут в добывающей промышленности до 2050 года*. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ds/blog/434598/>.
4. Шваб К. *Четвертая промышленная революция*. World Economic Forum. 2016 – All rights reserved. Режим доступа: https://www.litres.ru/pages/view_quote/?id=511f26680b1048f7ac211252d23f5b48
5. Клебанов А.Ф. Будущее безлюдных технологий на открытых горных работах. *Горная промышленность*. 2020;(3):32–36. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/intervyu/15908-budushchee-bezlyudnykh-tekhnologij-na-otkrytykh-gornyx-rabotakh>
6. Li B., Zhao K. and Saydam S. A cost-effective positioning and communication technology for the underground mine IoT application. In: *Fourth International Future Mining Conference 2019, Sydney, NSW, 19–20 November 2019*, pp. 134–136.
7. Наговицын О.В., Возняк М.Г. К вопросам управления роботизированным горнодобывающим предприятиям. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5-1):326–335. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_326
8. Лукичев С.В., Наговицын О.В. Цифровая трансформация горнодобывающей промышленности: прошлое, настоящее, будущее. *Горный журнал*. 2020;(9):13–18. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.01>

References

1. Anistratov K.Yu. (ed). *Surface Mining in the 21st Century. A reference book*. Moscow: Sistema maksimum; 2019. Vol. 2. 872 p. (In Russ.)
2. Yeates G. A technological revolution in the mining industry, or how Industry 4.0 will change the fundamentals of global mining. *Zolotodobycha*. 2017;(223). (In Russ.) Available at: <https://zolotodb.ru/article/11672>
3. Hamilton D. *Looking into the future, or what changes are coming for the mining industry between now and 2050*. (In Russ.) Available at: <https://habr.com/ru/company/ds/blog/434598/>.
4. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum. 2016 – All rights reserved. Available at: https://www.litres.ru/pages/view_quote/?id=511f26680b1048f7ac211252d23f5b48
5. Klebanov A.F. The future of unmanned technologies in surface mining. *Russian Mining Industry*. 2020;(3):32–36. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/intervyu/15908-budushchee-bezlyudnykh-tekhnologij-na-otkrytykh-gornyx-rabotakh>
6. Li B., Zhao K. and Saydam S. A cost-effective positioning and communication technology for the underground mine IoT application. In: *Fourth International Future Mining Conference 2019, Sydney, NSW, 19–20 November 2019*, pp. 134–136.
7. Nagovitsyn O.V., Voznyak M.G. Robotic mine management. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(5-1):326–335. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_326
8. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V. Digital transformation of mining industry: Past, Present and Future. *Gornyi Zhurnal*. (In Russ.) 2020;(9): 13–18. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.01>

Информация об авторах

Лукичев Сергей Вячеславович – доктор технических наук, директор Горного института Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: s.lukichev@ksc.ru

Наговицын Олег Владимирович – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории теории комплексного освоения и сохранения недр, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

Information about the authors

Sergey V. Lukichev – Dr. Sci. (Eng.), Director, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: s.lukichev@ksc.ru

Oleg V. Nagovitsyn – Dr. Sci. (Eng.), Chief Research Associate, Laboratory of Integrated Subsoil Development and Conservation Theory, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.09.2022
 Поступила после рецензирования: 28.09.2022
 Принята к публикации: 29.09.2022

Article info

Received: 21.09.2022
 Revised: 10.10.2022
 Accepted: 11.10.2022