

Организация удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации

А.Ф. Клебанов¹ ✉, А.В. Бондаренко², Ю.Л. Жуковский³, Д.А. Клебанов⁴

¹ ГК «Цифра», г. Москва, Российская Федерация

² ООО «Цифровые технологии производства», г. Кемерово, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук,

г. Москва, Российская Федерация

✉ aleksey.klebanov@zyfra.com

Резюме: В статье предложен план реализации проекта построения удаленного центра управления горнодобывающим предприятием: 1 – создание инфраструктурных и технологических условий для удаленного управления техникой и горными работами; 2 – организация центра управления, удаленного на значительное расстояние от места ведения горных работ, и перенос в него последовательно функций планирования, мониторинга, контроля и диспетчеризации; 3 – разработка методического и нормативного обеспечения для ведения горных работ с применением роботизированной техники и переход к дистанционному управлению и автономным технологиям добычи полезных ископаемых. Показано, что необходимым условием результативного выполнения проекта является разработка и промышленная реализация цифровых платформенных решений для интеграции, сквозной оптимизации, централизованного сбора и анализа данных, контроля и мониторинга полного цикла управления горным производством. Приведены аргументы целесообразности организации специализированных сервисных управляющих компаний (на базе ИТ компаний – разработчиков и/или интеграторов цифровых горных технологий) для удаленного управления интеллектуальным горным предприятием. Обосновывается необходимость создания аналитических центров поддержки принятия решений для оптимизации процессов горного производства (как одного из ключевых подэтапов проекта) на базе ведущих научных организаций и университетов горного профиля. На примере лаборатории «Цифровое горное производство» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II формулируются цели и задачи удаленного аналитического центра. Утверждается, что создание аналитических центров поддержки принятия решений будет способствовать подготовке квалифицированных научных кадров и ускорит процессы трансформации высшего образования России.

Ключевые слова: цифровизация, цифровая трансформация, цифровая промышленная платформа, платформенные решения, роботизированные технологии, удаленный центр управления, цифровой двойник, сквозная оптимизация, горнотехнические системы, горнотранспортный комплекс, MES, ROC

Для цитирования: Клебанов А.Ф., Бондаренко А.В., Жуковский Ю.Л., Клебанов Д.А. Организация удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации. *Горная промышленность*. 2024;(4):174–183. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>

Establishing remote control centers of a mining operation: strategic prerequisites and implementation stages

A.F. Klebanov¹ ✉, A.V. Bondarenko², Yu.L. Zhukovsky³, D.A. Klebanov⁴

¹ Zyfra Group, Moscow, Russian Federation

² Digital Production Technologies LLC, Kemerovo, Russian Federation

³ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

⁴ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ aleksey.klebanov@zyfra.com

Abstract: The article proposes the following plan to implement a project to create a remote control center of a mining company: (1) creation of infrastructural and technological conditions for remote control of equipment and mining operations; (2) organization of the control center that is located at a significant distance from the mining operations and successively transfer to it the functions of planning, monitoring, control and dispatching; (3) development of methodological and regulatory support for mining operations with the use of robotic equipment and transition to remote control and autonomous mining technologies. It is shown that the necessary condition for effective execution of the project is the development and industrial implementation of digital platform solutions for integration, end-to-end optimization, centralized data collection and analysis,

control and monitoring of the complete management cycle of mining production. Arguments are provided for the expediency of organizing dedicated service management companies (based on IT companies, i.e. developers and/or integrators of digital mining technologies) for remote management of the Intelligent Mining Enterprise. The necessity of creating analytical centers to support decision making for optimization of mining production processes (as one of the key sub-stages of the project) on the basis of leading research organizations and Universities of mining profile is justified. Goals and objectives of the Remote Analytical Center are formulated using the case of the Digital Mining Production Laboratory at the Empress Catherine II St. Petersburg Mining University. It is stated that creation of analytical centers for decision support will contribute to training of qualified academic staff and accelerate the transformation processes of the Russian higher education.

Keywords: digitalization, digital transformation, digital industrial platform, platform solutions, robotic technologies, remote control center, digital twin, end-to-end optimization, mining systems, mining transportation complex, MES, ROC

For citation: Klebanov A.F., Bondarenko A.V., Zhukovsky Yu.L., Klebanov D.A. Establishing remote control centers of a mining operation: strategic prerequisites and implementation stages. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):174–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>

Введение

Освоение месторождений полезных ископаемых с каждым годом ведется все в более сложных горно-геологических, природно-климатических и социально-экономических условиях. Увеличивается глубина разработки месторождений, истощается минерально-сырьевая база; разработку новых месторождений приходится вести в отдаленных и труднодоступных регионах [1]. Все это сказывается на эффективности работы горных предприятий. По некоторым оценкам [2], за последнее десятилетие капитальные затраты выросли на 33%, эксплуатационные расходы – на 90%, а рентабельность снизилась более чем на 28%. Мировой тенденцией является также кратное снижение качества добываемых руд [3]. Среднее содержание металла в руде снизилось: для меди – с 2,1 до 0,4%; свинца – с 2,7 до 0,6%; цинка – с 4,6 до 4%; олова – с 1,2 до 0,4%. Аналогичное снижение среднего содержания полезного компонента фиксируется и для других руд: золота, железа, фосфатов. Многие разведанные запасы находятся сегодня на предельной отметке экономической целесообразности освоения, и для перевода их в разряд доступных нужно располагать при проектировании добычи целым арсеналом инновационных технико-технологических решений. Инновации и научно-технический прогресс в области разведки, добычи и переработки минерального сырья в значительной степени определяют также экономическую эффективность (конкурентоспособность) действующих предприятий горно-металлургического комплекса (ГМК), ориентированных на достижение целей устойчивого развития, но балансирующих зачастую на грани рентабельности вследствие указанных выше общих тенденций и волатильности конъюнктуры отраслевых рынков [4].

Автоматизация горного производства, цифровизация (часто в последние годы употребляется термин «цифровая трансформация») и более глубокий пересмотр бизнес-моделей в ходе цифровой трансформации являются равноправными факторами (направлениями) повышения уровня конкурентоспособности горнодобывающих предприятий наряду с внедрением технологических и технических инноваций: новых технологий взрывания и буровзрывных работ; циклично-поточных технологий; более производительного горно-шахтного оборудования; новых технологий дробления и обогащения. Более того, резервы цифровых и телекоммуникационных технологий еще далеки от исчерпания и в последние годы мы являемся свидетелями стремительного продвижения в области роботизации, анализа Больших данных, Искусственного интеллекта (ИИ), цифрового моделирования, технологий беспроводной передачи данных, промышленного интернета вещей, распределенного реестра, спутниковой навигации [5] – в то время как темпы развития и модернизации технических и технологических решений невелики и неравномерны во времени.

Этапы цифровой трансформации

Цифровая трансформация горнодобывающих предприятий прошла с начала 90-х годов прошлого столетия несколько этапов [6]. В последние годы наметился ряд новых направлений развития цифровой трансформации, связанных с организацией удаленных центров управления, применением платформенных интеграционных решений и цифровых двойников производственных процессов (рис. 1).



Рис. 1
Этапы цифровизации
и цифровой
трансформации

Fig. 1
Stages of digitalization
and digital
transformation



Рис. 2
Основные направления развития цифровизации горного предприятия

Fig. 2
Main trends in digitalization of mining operations

Отметим, что все пройденные этапы цифровой трансформации приводили к повышению производительности технологических процессов и снижению эксплуатационных затрат. Роботизация на открытых горных работах только за счет изменения нормативных геотехнологических параметров проектирования карьеров (уменьшение ширины технологических дорог, увеличение допустимых углов откосов бортов карьера, увеличение уклонов и средних скоростей транспортировки) может привести к значительному повышению производительности горных работ и снижению себестоимости добычи с одновременным повышением уровня безопасности [7]. Однако в России роботизация горного производства продвигается очень медленными темпами, а вопрос об эффективности цифровых решений не так однозначен, если рассматривать эффекты с учетом доли отдельных процессов в общей структуре себестоимости добычи. Локальное применение цифровых технологий в отдельных производственных процессах (характерное для первых этапов цифровой трансформации, но часто практикуемое и в настоящее время) сводится к сокращению текущих затрат на добычу и переработку минерального сырья лишь на 0,5–6% [3]. Эти значения могут быть еще ниже из-за неэффективного и неполного использования функционала установленных на предприятии цифровых решений вследствие кадровых и других объективных и субъективных факторов. Есть основания полагать, что новые этапы цифровой трансформации существенно повысят эффективность (до 15–20%) цифровых решений в общей структуре затрат предприятия на добычу и переработку минерального сырья и сделают их сопоставимыми с внедрением технологических инноваций и нового оборудования. При этом инвестиции, связанные с внедрением цифровых решений и переходом к новой системе организации производства, могут быть в несколько раз и даже на порядки меньше, чем затраты на модернизацию предприятия за счет новых технологических решений и оборудования.

Все этапы цифровой трансформации взаимосвязаны, и роботизация горной добычи тесно связана с организацией удаленных центров управления горным предприятием, а также развитием технологий ИИ и цифровых двойников. Именно эти тренды развития цифровой трансформации (рис. 2) определены в последних исследованиях лидером стратегического консалтинга «Яков и Партнеры» как основные направления развития цифровых технологий горной отрасли на ближайшие годы [8]. Этот очередной этап цифровой трансформации уже непосредственно связан с преобразованием всех бизнес-процессов работы горной компании: фокус ИТ инициатив, заданный предыдущими этапами, смещается от технологий к человеку, то есть к изменению традиционных принципов работы компании и трансформации бизнес-процессов и рабочих мест [9].

Стратегические предпосылки организации Удаленных центров управления

Рассмотрим более подробно вопрос организации удаленных центров управления, то есть задачи и этапы централизации и переноса функции управления с мест ведения горных работ в удаленные центры управления горным предприятием. Под удаленными центрами управления здесь и далее в статье мы будем понимать центры управления, созданные в городах и крупных промышленных агломерациях с развитой социальной и технологической инфраструктурой на значительном расстоянии (сотни и тысячи километров) от места проведения горных работ.

Удаленные центры управления позволят организовать управление горным предприятием с реализацией роботизированных технологий добычи и интеграцией ключевых бизнес-процессов предприятия. Для реализации такого сложного комплексного ИТ проекта возможно окажется целесообразной передача значительной части функций управления сервисной управляющей компании (полностью независимой или аффилированной с горной



Рис. 3
Комплексная система управления горным производством

Fig. 3
Integrated system of mining operations management

компанией), созданной на базе разработчика (вендора) и/или интегратора цифровых технологий горного производства. Обязательным условием является привлечение в штат этой новой компании специалистов из горных, аутсорсинговых и консалтинговых предприятий – экспертов в области теории и практики управления промышленными предприятиями и аналитики производственных данных. Уровень цифровых технологий и компетенций должны позволить такой управляющей компании реализовать удаленное управление сразу несколькими горными предприятиями.

Организация специальной сервисной управляющей компании с размещением ключевого функционала в «одной комнате» и в едином контуре данных обеспечат горному предприятию следующие преимущества:

- возможность внедрения сложных ИТ решений, которые предприятие не в состоянии реализовать самостоятельно;
- возможность анализировать работу горного предприятия целиком, а не отдельные фрагменты, которые нужно «сшивать», и делать выводы; при этом сразу становятся видны неэффективные или дублирующие процессы, что является поводом для оптимизации;
- поддержку актуальности данных и более глубокое понимание бизнес-процессов;
- увеличение скорости принятия управленческих решений (все рядом и отклик на изменения быстрее) и уменьшение числа несогласованных действий и ошибок;
- удешевление обслуживания программно-аппаратной инфраструктуры;
- оптимизацию зеркалирования и резервного дублирования данных;
- облегчение поиска высококвалифицированного персонала;
- экономию на издержках обеспечения жизнедеятельности персонала в удаленных регионах и доставки сотрудников при работе вахтовым методом;
- близость специалистов к внешним сервисам: проект-

ным организациям, надзорным и разрешительным органам.

Выбор конкретной конфигурации программно-аппаратного комплекса удаленного центра управления решается на этапе проектирования. Обязательные общие разделы такого проекта должны быть связаны с организацией бесперебойной работы программного обеспечения, шифрованием данных и другими вопросами информационной безопасности. Также в проекте должна быть предусмотрена бесшовная интеграция, при которой общая шина данных позволит обеспечить обмен информацией между входящими в контур управления системами практически без задержки.

В перспективе концентрация высококвалифицированных ИТ специалистов и горных инженеров в удаленных центрах управления и создание специализированных сервисных ИТ компаний для обеспечения удаленного управления позволят организовать не только роботизированную безлюдную добычу полезных ископаемых в труднодоступных регионах, но и решать задачи по оптимизации производства на основе анализа Больших данных, непрерывно поступающих в удаленный центр от автоматизированной системы управления горнотранспортным комплексом (АСУ ГТК) и других систем мониторинга производственных процессов и промышленной безопасности [10]. Также удаленные центры создадут предпосылки для *сквозной оптимизации* и интеграции цифровых технологий отдельных производственных процессов в целостную систему управления производством на основе *платформенных* решений с применением методов ИИ, анализа Больших данных, решением задач прогнозной аналитики и машинного обучения (рис. 3).

Разделение функций управления между удаленным центром управления (сервисная управляющая компания), горнодобывающей компанией (головной офис) и горным предприятием может быть следующим: удаленный центр управления – уровень MES; горная компания – ERP; горное предприятие – АСУТП и SCADA.

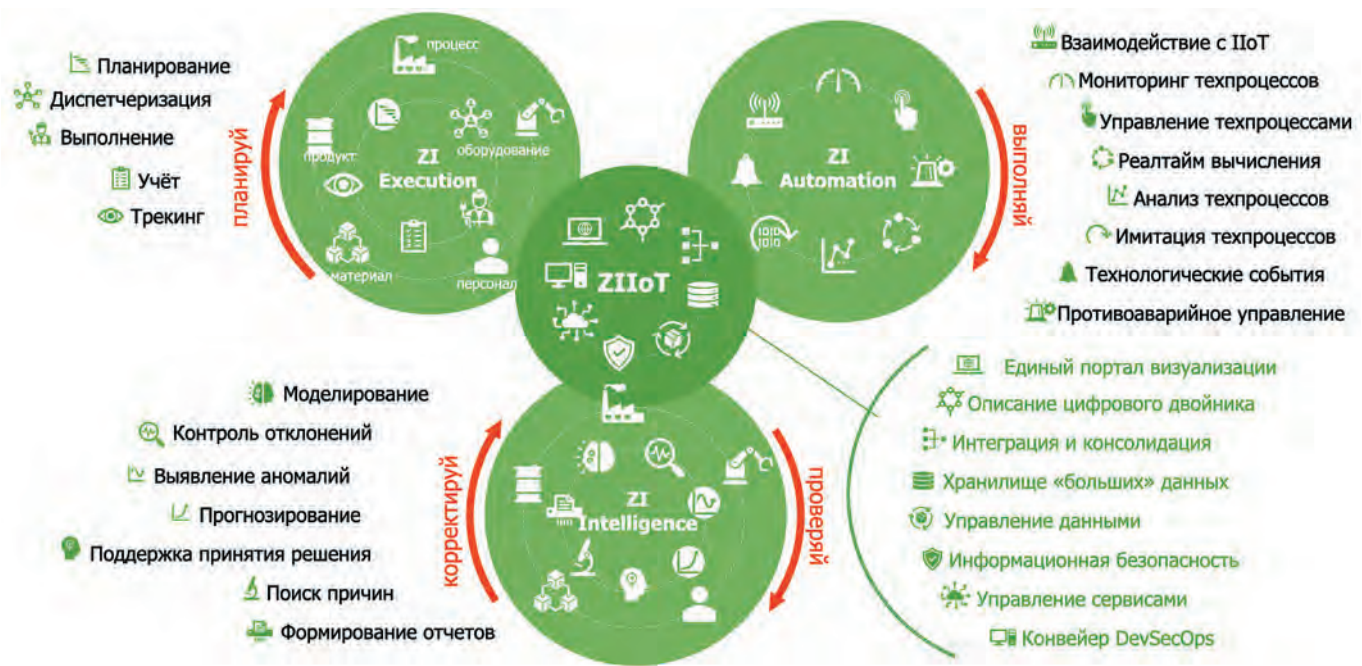


Рис. 4
Цифровая платформа полного цикла управления производством

Fig. 4
Digital platform for end-to-end production management

ГК «Цифра» планирует в ближайшие годы развивать свою цифровую индустриальную платформу ZIIoT для решения задач управления производством (рис. 4). Цифровая индустриальная платформа, интегрирующая процессы управления горнотехническими системами, является решающим фактором в построении и организации удаленных центров управления. Только такая платформенная интеграция и комплексирование цифровых технологий управления полным циклом горного производства позволят существенно повысить его эффективность, обеспечить сквозной контроль и оптимизацию процессов, сбор и хранение данных в единой системе (data-lake). Удаленное управление, сопровождаемое коллективом горных инженеров, управленцев и квалифицированных ИТ специалистов позволит оптимизировать цифровые решения, в том числе и за счет проведения систематического аудита применения всего функционала сквозной оптимизации производственных процессов горного предприятия.

Организация удаленных центров управления на основе платформенных решений с роботизацией и сквозной оптимизацией горного производства решит также проблему поиска рабочих кадров в отдаленных и труднодоступных регионах; удаленные центры, расположенные в крупных городах вблизи научных центров и университетских кампусов, обеспечат приток высококвалифицированных кадров для интеллектуального управления горным производством. Такой комплексный подход делает возможным рассматривать цифровую трансформацию и сопутствующую ей трансформацию бизнеса как значимые факторы повышения эффективности и безопасности добычи и переработки полезных ископаемых. Именно такой подход к проектированию новых и развитию действующих предприятий позволит на современном этапе цифровой и бизнес-трансформации перевести труднодоступные месторождения в разряд рентабельных за счет внедрения комплексных цифровых решений,

а горным предприятиям существенно повысить конкурентоспособность.

Реализация проекта: вызовы и основные этапы

Существует множество причин, которые могут сдерживать создание удаленных центров управления. Перечислим основные:

- новизна для руководителей и акционеров горной компании, связанная с изменением бизнес-процессов; опасение рисков внедрения принципиально новых методов организации производства;
- высокие требования к формализации технологических процессов на месте ведения горных работ, а вместе с ней и повышение прозрачности бизнес-процессов;
- временные затраты, которые потребуются на изменение проекта ведения горных работ;
- организация высокоскоростных и надежных каналов связи.

Поэтому сложно представить, что какая-либо горнодобывающая компания сразу, не имея необходимого опыта, перейдет на удаленное управление и применение роботизированной горной техники. Вероятно, первыми станут наиболее крупные компании, накопившие большой опыт в управлении и цифровизации горного производства. Скорее всего, переход будет поэтапный. Рассмотрим укрупненно основные этапы такого перехода (рис. 5).

На первом этапе необходимо организовать инфраструктуру проекта:

- обеспечить достаточные для реализации проекта каналы связи: возможный вариант – оптоволоконная линия с резервированием. Перспективным способом организации системы беспроводной передачи данных является также применение низкоорбитальных спутниковых систем связи;
- обеспечить полную автоматизацию (оцифровку) основных бизнес-процессов;
- организовать централизованный сбор данных;



Рис. 5
План реализации проекта

Fig. 5
Project implementation plan

– отработать технологии подготовки горнотранспортного оборудования к роботизации для промышленного применения [11]: autonomous ready (на заводах-производителях карьерной техники, новые модели) и «ретрофит» (на действующих промышленных производствах, модели в эксплуатации);

– создать на предприятии инфраструктуру связи для работы АСУ ГТК, автономной и дистанционно-управляемой техники (организация точек доступа и беспроводных каналов связи WiFi, GSM, IoT).

На втором этапе:

– создается удаленный центр управления с переносом в него тех функций управления, которые и сейчас частично централизованы во многих горнодобывающих компаниях и реализованы в виде цифровых технологий: геологическое моделирование (ГИС); стратегическое и среднесрочное планирование горных работ; планирование ТО и ремонтов; планирование буровзрывных работ (БВР); формирование электронных проектов на бурение взрывных скважин и проекта массового взрыва;

– разрабатываются средства для автоматизированного аудита работы АСУ ГТК (диспетчерская служба на первом и втором этапах остается на горном предприятии).

На третьем этапе необходимо:

– обеспечить полный перенос диспетчерской службы в удаленный центр управления. В случае организации удаленного управления на базе вновь создаваемой сервисной компании – это будет означать переход в структуру этой компании диспетчерской службы предприятия, а также перенос функций технического отдела;

– реализовать в удаленном центре управления платформенные цифровые решения для сквозной оптимизации и решения задач полного цикла управления производством;

– организовать независимые удаленные аналитические центры поддержки принятия решений для оптимизации работы горных компаний на базе научных организаций и университетов горного профиля с обеспечением их взаимодействия с удаленными центрами управления и/или непосредственно с горными компаниями.

На четвертом этапе можно переходить к организации дистанционного и роботизированного управления. Для этого необходимо:

– создать и согласовать в надзорных органах изменения в проекте ведения горных работ, предусматривающих новые методы управления;

– сформировать методическое обеспечение: проведение наряда на работы; оперативное управление процессами добычи и транспортировки; правила промышленной безопасности в условиях применения безлюдных технологий;

– предусмотреть реорганизацию и усиление службы ремонта, так как в отсутствие водителей данная служба должна выполнять периодическое обслуживание и первичную диагностику, обычно выполняемую водителем;

– организовать рабочие места операторов автономной техники и дистанционно-управляемой техники (РМО) в удаленном центре управления;

– определить минимальный состав ИТР и служб, которые остаются на горном предприятии, а также их функции и регламент работы;

– увеличить на горном предприятии парк дорожно-строительной техники, так как повышаются требования к состоянию дорог при работе роботизированных самосвалов.

Если рассматривать управление горной компанией с точки зрения классического цикла Деминга (планирование, выполнение, проверка, корректировка), то на первых этапах создаются инфраструктура и технологические условия для удаленного управления техникой и горными работами; в удаленный центр переносятся последовательно процессы планирования (стратегическое, среднесрочное, декадное, суточное); проверки и корректировки (диспетчеризация, мониторинг, контроль); а на последнем этапе – разрабатывается методическое и нормативное обеспечение для ведения горных работ с применением роботизированной техники и реализуется «выполнение» – переход к дистанционному управлению и безлюдным технологиям добычи полезных ископаемых.

Конечно, разделение проекта организации удаленного центра управления на этапы весьма условно: при подготовке дорожной карты перечисленные этапы можно разбить на подэтапы, а задачи различных этапов могут стартовать одновременно – их начало никак не связано с завершением предшествующих задач. Такой задачей или этапом является организация удаленных аналитических центров поддержки принятия решений для оптимизации работы горных компаний на базе научных организаций и университетов горного профиля (рис. 6). Остановимся подробнее на этой задаче.



Рис. 6
Взаимодействие научных организаций и университетов горного профиля с удаленными центрами управления и горными предприятиями

Fig. 6
Interaction of research organizations and Universities of mining specialization with Remote Control Centers and mining operations

Удаленные аналитические центры поддержки принятия решений и трансформация высшего образования

Горная наука может оказать существенную помощь в организации удаленных центров управления в части методического обоснования перехода к удаленному управлению интеллектуальным горным предприятием; трехмерного моделирования; решения оптимизационных задач и анализа Больших данных; применения методов ИИ для управления автономной горной техникой; создания цифровых двойников и цифровых советчиков процессов горного производства [12]. В ИПКОН РАН при поддержке гранта Российского научного фонда разрабатываются методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами [13]. Эта работа может составить основу для реализации удаленного управления горным предприятием.

В свою очередь, трансформация высшего образования [14] приведет в недалеком будущем к созданию университетов с исследовательскими лабораториями, центрами разработки, производственными площадками и тесными связями с индустриальными компаниями. Такие университеты – центры компетенций, сохраняя базовые приоритеты образовательного процесса, будут делать ставку на совместную (с горными и производственными компаниями) разработку инновационных продуктов и сервисных услуг, которые будут включаться в учебный процесс и одновременно реализовываться в промышленных внедрениях [15]. Учеба в университетах – центрах компетенций позволит организовать массовую подготовку квалифицированных междисциплинарных инженерных кадров, способных реализовать цифровую трансформацию промышленных предприятий, и это позволит существенно сократить дефицит персонала, обладающего опережающими компетенциями в области цифровых технологий, отмечаемый в настоящее время [8].

Для развития высшего образования требуются также новые подходы к организационному и политическому управлению, кадровому обеспечению университетов, системам оценки профессиональных знаний, формированию новых профессиональных стандартов, образовательных систем с улучшенным научным обеспечением подготовки кадров. Предлагаемая организация удаленных аналитических центров на базе университетов позволяет развивать исследовательские компетенции и технологическую базу для эффективного внедрения цифровых технологий в технологическую цепочку операций жизненного цикла освоения полезных ископаемых (поиск, разведка, добыча, транспортировка, переработка и получение продукта непосредственного потребления).

Правительство РФ определило сроки перехода значимой критической информационной инфраструктуры (КИИ), к которой относятся цифровые технологии в МСК и ТЭК, на отечественные решения. Отмечается, что для реализации скорейшего перехода КИИ на отечественные цифровые технологии необходимо кратно нарастить за ближайшие 3–5 лет выпуск инженеров по автоматизации и роботизации производства. Для этого будут активно привлекаться производственные компании к участию в обучении по междисциплинарным направлениям в университетах, и это станет обязательным условием для предоставления им льгот. Все эти решения создают ис-



Рис. 7
«Цифровое горное производство» – лаборатория ГК «Цифра» в СПбГУ

Fig. 7
The Digital Mining Production Laboratory of the Zyfra Group at the Empress Catherine II St. Petersburg Mining University

ключительно благоприятную почву для ускорения консолидации университетов и производственных корпораций.

Отметим также, что одной из основных проблем создания качественной подготовки в горнодобывающей промышленности является адаптация знаний к быстро меняющимся технологиям. Во всем мире горнодобывающая промышленность сталкивается с многомерными, часто взаимосвязанными вызовами с очень сложными сочетаниями технических, экономических, экологических, управленческих и социальных факторов. Высококачественная подготовка будущих междисциплинарных инженеров в области цифровой трансформации горного производства должна учитывать все эти факторы.

ГК «Цифра» реализует программу работы с университетами, и одним из главных партнеров в этом направлении является Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (СПбГУ). Санкт-Петербургский горный университет является одним из лидеров трансформации горнотехнического образования. В университете созданы лаборатории и центры компетенций ведущих промышленных горных, нефтегазовых, машиностроительных и промышленных компаний. В лаборатории ГК «Цифра» «Цифровое горное производство», входящей в центр компетенции «БЕЛАЗ» (рис. 7), развернута программно-аппаратная инфраструктура для обучения студентов методам оперативного управления горными работами: сервер АСУ ГТК и цифровой платформы IIoT; РМО автономного и дистанционного управления горной техникой; АРМ диспетчеров; видеостена; стенд-эмулятор программно-аппаратных комплексов цифрового автосамосвала. Такая конфигурация программно-аппаратных средств может стать прообразом аналитического центра удаленного управления ГТК и поддержки принятия решений для оптимизации работы горных предприятий. Подобные дистанционные аналитические центры управления уже успешно функционируют в мире. Например, компания Ramjack Technology Solution (ЮАР) подключается удаленно к системам диспетчеризации, автоматизации и мониторинга в режиме реального времени на нескольких африканских горных предприятиях, анализирует тренды и оптимизирует использование оборуду-



Рис. 8
Источники получения данных

Fig. 8
Sources of data acquisition

дования, улучшает производственные показатели¹. Это дает реальное сокращение затрат и повышение производственной безопасности.

Организацию работы удаленного аналитического центра поддержки принятия решений планируется начать с подключения сервера лаборатории к АСУ ГТК «КАРЬЕР» на одном из предприятий компании ЕВРАЗ. Непрерывно поступающие в удаленный аналитический центр данные о горнотехнической системе (эксплуатационных и диагностических параметрах оборудования; окружающей среде и персонале) могут использоваться для их всестороннего анализа, построения прогнозных моделей и оптимизации производства (рис. 8). В удаленном аналитическом центре можно будет анализировать комплексно факторы *производительности, энергетической эффективности и производственной безопасности* [16; 17]:

- скорость движения автосамосвалов (важнейший показатель производительности), расход топлива и шин в зависимости от плеча откатки, времени суток, смены, погоды, загрузки, простоев, мелких остановок, рельефа, количества самосвалов на маршруте;
- зависимость производительности экскаваторов от различных факторов;
- время циклов работы экскаватора;
- недогрузки и перегрузы автосамосвалов;
- гранулометрический состав взорванной горной массы в зависимости от параметров БВР;
- случаи отвлечения и засыпания водителей, опасные сближения горной техники и горнорабочих; давление и температуру в шинах; нарушения скоростных режимов и технического состояния горной техники; качество вождения и состояние технологических дорог и пр.;
- поломки и простои горной техники в зависимости от диагностических и эксплуатационных параметров, фиксируемых дистанционно в АСУ ГТК;
- показатели устойчивости бортов карьера по данным геомониторинга в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов.

Задачи оптимизации и построения прогнозных моделей могут быть решены с применением различных методов анализа Больших данных:

- методы DataMining (кластерный, многофакторный, регрессионный и компонентный анализы);
- методы машинного обучения (ML);
- использование искусственных нейронных сетей;
- пространственный анализ и визуализация данных и др.

Эти научно-практические разработки на основе анализа Больших данных планируется проводить в удаленном аналитическом центре СПбГУ, что позволит решать задачи подготовки высококвалифицированных кадров с использованием реальных практик автоматизации горных работ, а также выполнять исследования по заказам горных компаний в целях оптимизации их производственной деятельности.

От аналитики работы ГТК в удаленном аналитическом центре постепенно можно будет перейти (во взаимодействии и разделении функций с удаленным центром управления горным предприятием и головным офисом горной компании) к анализу всего комплекса процессов управления горным производством, то есть мероприятий, направленных на обеспечение бесперебойной, эффективной и безопасной работы предприятия, и оптимизации:

- портфеля заказов на продукцию предприятия в зависимости от стратегии долгосрочной работы предприятия и состояния рынка;
- плана развития горных работ, увязанного с портфелем заказов;
- объемов производства проектных работ (ППР) и закупок новой техники взамен уступающей, увязанных с планом развития горных работ, плановыми объемами по добыче, вскрыше и перевозкам;
- закупок запасных частей и материалов для выполнения горных работ, ремонтов и технического обслуживания;
- обеспеченности персоналом, включая подготовку и мотивацию квалифицированных специалистов;
- затрат на экологию и охрану труда;
- финансовой деятельности.

Цифровой двойник процесса управления ГТК

Одним из необходимых условий выполнения аналитической работы по коррекции планов горных работ на основе анализа данных мониторинга является разработка цифрового двойника процесса управления горнотранспортным комплексом – эмулятора АСУ ГТК «КАРЬЕР». Эмулятор позволит одновременно организовать учебный процесс при подготовке специалистов по направлению переподготовки «Цифровое горное производство». Кратко опишем концепцию разработки такого эмулятора (цифрового двойника) – важнейшего элемента организации работ в удаленном аналитическом центре. В качестве исходных данных при разработке цифрового двойника АСУ ГТК необходимо взять положение горных работ, расстановку техники, склады разгрузки автотранспорта, историю движения самосвалов и работы экскаваторов за смену. Простейший эмулятор – это проигрывание фактической работы ГТК с визуализацией и обработкой данных телеметрии. Реализация в цифровом двойнике функционала АСУ ГТК позволит научить студентов тому, как формируется наряд на смену:

- доступность техники;
- доступность персонала;
- паспорт загрузки автосамосвалов;
- плановые показатели работы экскаваторов;

¹ Re-inventing the future of mining through purpose-built technology solutions. Available at: www.ramjacktech.com (accessed: 27.05.2024).

- распределение автосамосвалов по маршрутам;
- ввод остатков и качества по складам.

Также будет возможно научить студентов элементам управления качеством руды на уровне планирования смены, показывая, как будет идти процесс работы в смене, запуская в заданном темпе обработку записанной телеметрии. Эти навыки помогут и в консалтинговой работе по оптимизации горных работ, проводимой удаленным аналитическим центром:

- формирование текстового файла из системы геологического моделирования, содержащей качество по блочной модели, упрощенной до уровня сеточной модели;
- импорт контуров работы экскаваторов из системы планирования горных работ или построение контуров в АСУ ГТК. Подсчет среднего качества по экскаваторам на смену и прогноз качества на складах в течение смены.

Цифровой двойник АСУ ГТК будет применим и в исследовательских проектах удаленного аналитического центра для поиска оптимальных планов работы горного предприятия; определения сменных заданий операторам и водителям горной техники; оптимизации парка горной техники в зависимости от производственных планов; решения комплекса задач управления качеством и сквозной оптимизации горных работ и др.

Выводы

В заключение следует отметить, что организация удаленных центров управления горным предприятием является на сегодняшний день амбициозной, сложной, но реально осуществимой научной и организационно-технической задачей. Этот проект формирует партнерскую экосистему производственных, надзорных, проектных, научных, образовательных организаций горного профиля и ИТ компаний – разработчиков и интеграторов цифровых горных технологий, на базе которых могут в перспективе создаваться сервисные управляющие компании для удаленного управления интеллектуальным горным предприятием (рис. 9).

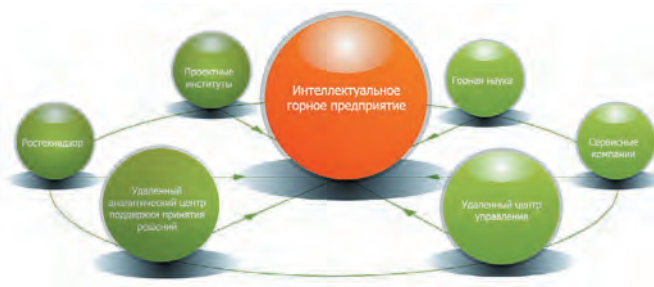


Рис. 9
Сбалансированная экосистема

Fig. 9
Balanced ecosystem

На первых этапах создаются инфраструктура и технологические условия для удаленного управления техникой и горными работами; далее в созданный удаленный центр переносятся последовательно функции планирования, мониторинга, контроля и диспетчеризации; разрабатывается методическое и нормативное обеспечение для ведения горных работ с применением роботизированной техники и реализуется переход к дистанционному управлению и роботизированным технологиям добычи полезных ископаемых.

Необходимым условием для успешной реализации проекта является разработка цифровых платформенных решений для интеграции, сквозной оптимизации, контроля и мониторинга процессов горного производства; централизованного сбора и анализа данных.

Создание удаленных аналитических центров поддержки принятия решений на базе ведущих научных организаций и горных университетов является одним из этапов организации удаленных центров управления. Создание таких центров будет способствовать подготовке квалифицированных научных сотрудников, горных инженеров и ускорит процессы трансформации высшего образования России.

Список литературы / References

1. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S1-1):21–31. Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V. Situation and prospects of open-pit mining development in the XXI century. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(S1-1):21–31. (In Russ.)
2. Мацко Н.А. Опыт и перспективы использования цифровых технологий в добывающих отраслях. *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2020;(6):7–13. <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601> Matsko N.A. Experience and prospects for the use of digital technologies in extractive industries. *Property Relations in the Russian Federation*. 2020;(6):7–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601>
3. Мацко Н.А. Опыт и перспективы использования цифровых технологий в добывающих отраслях. *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2020;(6):7–13. <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601> Matsko N.A. Experience and prospects for the use of digital technologies in extractive industries. *Property Relations in the Russian Federation*. 2020;(6):7–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601>
4. Tsvetkov P., Andreichyk A., Kosarev O. The impact of economic development of primary and secondary industries on national CO₂ emissions: The case of Russian regions. *Journal of Environmental Management*. 2024;351:119881. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119881>
5. Жуковский Ю.Л., Семенюк А.В., Алиева Л.З., Арапова Е.Г. Цифровые платформы на основе блокчейна для снижения углеродного следа горнодобывающей промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):361–378. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_361 Zhukovskiy Y.L., Semenyuk A.V., Alieva L.Z., Arapova E.G. Blockchain-based digital platforms to reduce the carbon footprint of mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):361–378. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_361
6. Клебанов А.Ф. Цифровая трансформация горнодобывающих предприятий: модная фразеология или объективная необходимость? В кн.: Трубецкой К.Н. (ред.) *Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: материалы 3-й Междунар. научной школы академика К.Н. Трубецкого, г. Москва, 25–29 июня 2018 г.* М.: ИПКОН РАН; 2018. С. 61–64.

7. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации. *Горная промышленность*. 2020(1):8–11.
Klebanov A.F. Automation and robotization in opencast mining: experience in digital transformation. *Russian Mining Industry*. 2020(1):8–11. (In Russ.)
8. Натрусов Н., Садардинов И., Емельченков С. Цифровизация горно-металлургической отрасли России в 2024 году: презентация. Апрель, 2024. Режим доступа: https://www.yp.partners/upload/iblock/67c/cjwhz656wjsfn0up1ze8ka8qg7uxrpm8/20240423_Digital_mining.pdf (дата обращения: 06.05.2024).
9. Koteleva N., Valnev V. Automatic detection of maintenance scenarios for equipment and control systems in industry. *Applied Sciences*. 2023;13(24):12997. <https://doi.org/10.3390/app132412997>
10. Ботян Е.Ю., Лавренко С.А., Пушкарев А.Е. Методика уточненного расчета межремонтного периода элементов подвески карьерных автосамосвалов посредством учета горнотехнических условий их эксплуатации. *Горная промышленность*. 2024;(1):71–76. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-71-76>
Botyan E.Y., Lavrenko S.A., Pushkarev A.E. Methodology for refined calculation of mean time to repair of mining dump truck suspension elements with account of mining and technical conditions of their operation. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):71–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-71-76>
11. Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Кузнецов И.В. Цифровая трансформация открытых горных работ и новое поколение карьерной техники. *Горная промышленность*. 2020;(6):10–12. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-10-12>
Vladimirov D.Ya., Klebanov A.F., Kuznetsov I.V. Digital transformation of surface mining and new generation of open-pit equipment. *Russian Mining Industry*. 2020;(6):10–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-10-12>
12. Litvinenko V.S. Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*. 2020;29(3):1521–1541. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4>
13. Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами. *Горный журнал*. 2022;(12):55–61. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
Zakharov V.N., Kaplunov D.R., Klebanov D.A., Radchenko D.N. Methodical approaches to standardization of data acquisition, storage and analysis in management of geotechnical systems. *Gornyi Zhurnal*. 2022;(12):55–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
14. Вавилов В. Стратегия развития российских университетов должна измениться. *Российская газета Спецвыпуск: Устойчивое развитие*. 2023, 24 апреля. Режим доступа: <https://rg.ru/2023/04/25/reg-pfo/korporaciia-znaniy.html> (дата обращения: 06.05.2024).
15. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами. *Записки Горного института*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
Litvinenko V.S., Petrov E.I., Vasilevskaya D.V., Yakovenko A.V., Naumov I.A., Ratnikov M.A. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
16. Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Князькин Е.А. Анализ данных как основа повышения эффективности работы горнотранспортного оборудования при ведении открытых горных работ. *Горная промышленность*. 2023;(1):52–56. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-52-56>
Rylnikova M.V., Klebanov D.A., Knyazkin E.A. Data analysis as a basis for improving the efficiency of mining equipment in open pit operations. *Russian Mining Industry*. 2023;(1):52–56. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-52-56>
17. Клебанов А.Ф., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В. О Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала. *Горная промышленность*. 2020;(2):75–81. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-75-81>
Klebanov A.F., Sizemov D.N., Kadochnikov M.V. Integrated approach to remote monitoring of technical and operating conditions of mine dump trucks. *Russian Mining Industry*. 2020;(2):75–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-75-81>

Информация об авторах

Клебанов Алексей Феликсович – кандидат технических наук, директор по науке и работе с образовательными учреждениями, Группа компаний «Цифра», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: aleksey.klebanov@zyfra.com

Бондаренко Александр Владимирович – генеральный директор, ООО «Цифровые технологии производства», г. Кемерово, Российская Федерация

Жуковский Юрий Леонидович – доктор технических наук, директор института развития междисциплинарных компетенций, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Клебанов Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, зав. лабораторией интеллектуальных систем и цифровых технологий, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: Klebanov_d@ipkonran.ru

Information about the authors

Aleksey F. Klebanov – Cand. Sci. (Eng.), Director for Science and Interaction with Educational Institutions, Zyfra Group, Moscow, Russian Federation; e-mail: aleksey.klebanov@zyfra.com

Aleksandr V. Bondarenko – Director General, Digital Production Technologies LLC, Kemerovo, Russian Federation

Yury L. Zhukovsky – Dr. Sci. (Eng.), Director, Institute for Development of Interdisciplinary Competencies, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Dmitry A. Klebanov – Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory of Intelligent Systems and Digital Technologies, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: Klebanov_d@ipkonran.ru

Article info

Received: 19.05.2024

Revised: 09.07.2024

Accepted: 16.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.05.2024

Поступила после рецензирования: 09.07.2024

Принята к публикации: 16.07.2024