

# Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности

М.В. Рыльникова<sup>1</sup>✉, Д.А. Клебанов<sup>1</sup>, М.А. Макеев<sup>2</sup>, М.В. Кадочников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «Пиклема», г. Москва, Российская Федерация  
✉rylnikova@mail.ru

**Резюме:** В статье определены факторы, которые указывают на актуальность проблемы формирования новых инструментов эффективной и безопасной добычи твердых полезных ископаемых на базе развития методов прогнозной аналитики. Данные методы учитывают тренды в анализе больших данных в сфере недропользования. Приведен пример реализации нового класса информационных систем – «цифровых советчиков», исходными данными для создания которых явилась информация систем диспетчеризации, MES, ERP горных предприятий. Проведен анализ практических примеров внедрения цифровых советчиков. Даны реферальные экономические оценки внедрения цифрового советчика водителем карьерных автосамосвалов. Определены направления развития подобных аналитических систем на основе анализа больших данных.

**Ключевые слова:** горная промышленность, анализ данных, большие данные, аналитические системы, цифровой советчик, эффективность, безопасность, система диспетчеризации ГТК

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда №22-17-00142.

**Для цитирования:** Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Макеев М.А., Кадочников М.В. Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности. *Горная промышленность*. 2022;(3):89–92. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-89-92>

## Application of artificial intelligence and the future of big data analytics in the mining industry

M.V. Rylnikova<sup>1</sup>✉, D.A. Klebanov<sup>1</sup>, M.A. Makeev<sup>2</sup>, M.V. Kadochnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> "Piklema" LLC, Moscow, Russian Federation  
✉rylnikova@mail.ru

**Abstract:** The article identifies factors that indicate the relevance of creating new tools for efficient and safe mining of solid minerals based on advances in predictive analytics methods. These methods take into account the trends in big data analysis in subsoil management. An example is given on implementation of a new class of information systems, i.e. the "digital advisers", which use information from dispatching systems, MES, ERP of the mining operations as the input data to create such systems. Cases of practical implementation of the digital advisers are analyzed. A reference economic assessment of implementing the digital adviser for mine dump truck drivers is provided. Trends in development of such analytical systems are identified based on the Big Data analysis.

**Keywords:** mining industry, data analysis, Big Data, analytical systems, digital advisor, efficiency, safety, mine transport dispatching system

**Acknowledgments:** The research was financially supported by the Russian Science Foundation Grant No.22-17-00142

**For citation:** Rylnikova M.V., Klebanov D.A., Makeev M.A., Kadochnikov M.V. Application of artificial intelligence and the future of big data analytics in the mining industry. *Russian Mining Industry*. 2022;(3):89–92. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-89-92>

**Введение**

Цифровая трансформация, цифровое предприятие, цифровизация – эти термины и словосочетания все чаще звучат по радио и с экрана телевизора. Темы цифровой экономики и трансформации становятся предметом панельных дискуссий на крупных международных форумах и конференциях. На государственном уровне принята программа «Цифровая экономика России», аналогичная – в Казахстане. Казахстан, Россия и Белоруссия создают совместную комиссию по цифровизации, чтобы определить ключевые технологии, за счет которых должна обеспечиваться цифровая трансформация экономик стран содружества. Долгосрочные комплексные программы Национальной технологической инициативы (НТИ) также направлены на развитие цифровой экономики России. Ставка при этом делается на развитие отечественных технологий и цифровизацию базовых отраслей промышленности, в том числе и горно-металлургического сектора.

**Актуальность нахождения новых инструментов добычи твердых полезных ископаемых**

В России и мире существуют объективные предпосылки, которые влияют на эксплуатационные затраты добычи и транспортировки твердых полезных ископаемых, а также промышленную и экологическую безопасность горных работ:

- добыча полезных ископаемых ведется в тяжелых климатических, сложных горно-геологических условиях;
- существует нехватка квалифицированного персонала;
- высокие удельные капитальные и операционные затраты, связанные с созданием инфраструктуры, обеспечивающей проживание персонала;
- высокая доля нетехнологических простоев образования и горнопромышленного комплекса в целом;
- повышенная опасность производства и высокие риски аварий обуславливают необходимость проведения мероприятий по охране труда и внедрение современных технологий для обеспечения безопасности работы персонала;
- сохранение экосистем горнопромышленных регионов требует значительных затрат на охрану окружающей среды.

Все эти факторы указывают на актуальность проблемы нахождения новых инструментов обеспечения эффективной и безопасной добычи твердых полезных ископаемых. Одним из возможных способов решения поставленных задач для сохранения конкурентоспособности отечественных горнодобывающих предприятий является применение современных технологий с использованием искусственного интеллекта и прогнозной аналитики на основе анализа больших данных на всем этапе создания стоимости товарной продукции – от геологоразведки до обогащения.

Для иллюстрации важности роста производительности труда и поиска новых технологий можно привести в качестве примера программы развития угольной промышленности в России до 2030 г., где среди целей отмечены следующие показатели:

- пятикратный рост производительности труда в угольной промышленности;
- рост рентабельности активов;
- повышение в 2–3 раза основных показателей уровня промышленной и экологической безопасности.

**Предпосылки цифровой трансформации и развития аналитических систем больших данных**

Помимо актуальности проблемы, которая сейчас очевидна как в России, так и за рубежом, существуют объективные технические и организационные предпосылки процессов цифровой трансформации и развития аналитических систем больших данных горной промышленности:

- развитие цифровых технологий и удешевление элементной базы системы интеллектуального управления горным производством [1];
- внедрение систем автоматической диспетчеризации и других ИТ-платформ на горных предприятиях России для повышения управляемости и контроля технологических операций, а также интеграции систем между собой [2–4];
- создание в горных компаниях департаментов, отвечающих за поиск и внедрение инновационных решений, ведущих к трансформации процессов производства, призванных повысить его эффективность. На рис. 1 показан широкий спектр систем автоматизации технологических процессов в горнодобывающей отрасли, которые нацелены на решение задач повышения эффективности производства;
- удорожание технологического транспорта и других материальных средств требует новых подходов к управлению производством с целью снижения издержек и расходов.

Основой системы цифрового управления технологическими процессами, способной обеспечить требуемый уровень безопасности и эффективности на горнодобывающем предприятии, является достоверная и своевременная информация на всех уровнях производства. Организация возможности получения достоверных данных о состоянии технологических процессов на всех уровнях управления, включая головной офис – важный шаг цифровой трансформации отрасли. До недавнего времени существовало множество плохо связанных и не интегрированных между собой подсистем, каждая из которых автоматизирует какой-либо отдельный процесс управления производством (ГИС системы, системы кадрового и бухгалтерского учета, системы планирования, АСУТП, расчетно-инженерные системы, диспетчерские, системы управления складскими хозяйствами и т.д.). Это приводит к снижению качества системы управления в целом, повышению риска травм, дополнительным неконтролируемым издержкам и снижению эффективности.

Действительно, на передовых предприятиях отрасли формируется единая стратегия «оцифровки» показателей производственных процессов. Эти данные «питают» корпоративные ERP системы. Системы диспетчеризации, контроля состояния оборудования и техники, аэрогазового контроля, выдачи нарядов и системы контроля доступа связаны между собой в единый информационный ландшафт для эффективного планирования производством при анализе в режиме онлайн вопросов управления промышленной безопасностью. Для развития систем прогнозной аналитики и предотвращения риска аварий и техногенных катастроф, повышения экономической эффективности горного производства и уровня управленческих решений дальнейшее развитие горной промышленности должно базироваться на развитии теории сбора, обработки, хранения и использования данных, собираемых при освоении недр. Для этого поставлена и решается задача создания универсальных структур аналитических систем больших

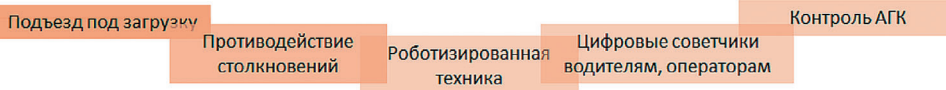
Производство

Обслуживание

Безопасность



Производственная статистика (рейсы, простои, загрузка и пр.)	Высокоточная навигация буровых станков	Высокоточная навигация экскаваторов	Мониторинг эксплуатации и ведение жизненного цикла крупногабаритных шин		Радарные системы контроля устойчивости бортов
Центральная диспетчерская и Управление ЖД	Контроль качества дорог	Контроль температуры и давления в шинах	Мониторинг диагностических параметров	Управление ТОиР	Контроль усталости водителей и анализ влияния на производство



**Рис. 1**  
Информационные системы, используемые для решения производственных задач горной промышленности

**Fig. 1**  
Information systems used to solve operational challenges in the mining industry

данных горной промышленности, обеспечивающих методологически выверенный сбор, обработку, хранение и анализ данных, поступающих от источников цифровой информации о функционировании предприятия.

Так, на основе интеграции систем и анализа собираемых данных обоснована возможность формулирования и проверки гипотез, результатом которых является разработка «цифровых советчиков» операторов техники и линейного персонала. Работа этих советчиков направлена на формирование обоснованных рекомендаций по управлению технологическим процессом или техникой на основе анализа исторических данных и выбора оптимальных с точки зрения минимизации затрат режимов управления.

**Примеры реализации информационных систем нового класса**

В качестве реальных примеров подобных аналитических систем, которые стали активно внедряться за последние два года на горнодобывающих предприятиях без существенных капитальных затрат на внедрение информационных технологий, необходимо выделить цифровые советчики:

- водителям карьерных самосвалов;
- механикам по эксплуатации и обслуживанию шин, двигателей, других узлов и агрегатов на основе технологий виртуальной реальности;
- машинистам экскаваторов и буровых станков;
- операторам аэрогазового контроля в угольных шахтах;
- диспетчерам на основе имитационного моделирования и перепланирования работы горных предприятий.

Уже сегодня такие советчики разрабатывают рекомендации линейному персоналу, инженерам, диспетчерам и руководству компаний в части как управлять технологическими процессами, анализируя десятки параметров за большие периоды времени и экстраполируя сценарии будущего на основе анализа ситуаций прошлых периодов. Дальнейшее развитие таких аналитических систем состо-

ит в том, чтобы в полной мере понимать возможности повышения эффективности производства на основе уже собираемых данных, анализируя которые, можно не только фиксировать прошедшие и текущие состояния технологических процессов, но и экстраполировать, строить модели развития процессов в будущем. Такой подход позволит не только избежать человеческого фактора в принятии решений при управлении дорогостоящей техникой, оборудованием, но и заранее спрогнозировать наиболее оптимальное состояние и дать определенные рекомендации персоналу в работе. Одной из первостепенных научных задач является классификация источников получения данных о функционировании горнотехнической системы на различных этапах, а именно оценить типы и получаемые данные от горнотехнических конструкций, генерируемые данные и возможности получения их от горного оборудования и горных выработок, а также от технических процессов. На основании данной классификации можно будет говорить об универсальных структурах аналитических систем больших данных в горной промышленности, обеспечивающих методологически выверенный сбор, обработку, хранение и анализ данных, на основе которого будут построены «цифровые советчики».

В качестве практического примера анализа данных и построения аналитической системы можно привести цифровой советчик водителям карьерных самосвалов, внедренный компанией Pikelma на Качканарском горно-обогатительном комбинате (ЕВРАЗ КГОК). Советчик ориентирован на выдачу голосовых подсказок, позволяющих минимизировать расход топлива при транспортировке руды карьерными самосвалами за счет соблюдения необходимого скоростного режима, минимизации разгонов и торможений, а также поддержания плавности движения в течение смены. Разработка рекомендаций основана на статистических данных, полученных за длительный период эксплуатации анализируемого оборудования, и анализа стилей вождения (для построения прогнозной модели используется телеметрия и информация о горном оборудовании за два месяца). В системе

рассчитывается скоростной профиль маршрутов с учетом манеры управления, погодных условий, качества технологических дорог и типа карьерного самосвала. Система позволила сэкономить 5% дизельного топлива, а также увеличить среднюю техническую скорость движения карьерных самосвалов на 2%.

### Заключение

Научные и практические задачи цифровой трансформации горнодобывающей отрасли состоят в выборе направлений исследований и технологических разработок,

которые будут актуальны в перспективе для обеспечения устойчивого развития горнодобывающей отрасли. Важно не просто внедрять новые технологии сбора данных, а на основе формулирования гипотез оптимизации параметров геотехнологических процессов с использованием аналитических систем больших данных горной промышленности развивать методы подготовки и преобразования информации горнодобывающих предприятий для ее долговременного экономически обоснованного хранения и активного использования в управлении производством на основе развития методов прогнозной аналитики.

### Список литературы

- Rylnikova M., Radchenko D., Klebanov D. Intelligent Mining Engineering Systems in the Structure of Industry 4.0. *E3S Web of Conferences*. 2017;21:01032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101032>
- Батаев А.В., Клебанов Д.А. Резервы повышения операционной эффективности горнодобывающих компаний: ремонты оборудования. *Горная промышленность*. 2013;(5):47–49. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/anonsy/5234-rezervy-povysheniya-operatsionnoj-effektivnosti-gornodobyvayushchikh-kompanij-remonty-oborudovaniya>
- Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. *Современные системы управления горнотранспортными комплексами*. СПб.: Наука; 2007. 306 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/16307?>
- Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Makeev M.A. Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техники. *Горная промышленность*. 2017;(5):27–30. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/13001-nauchno-tehnicheskie-voprosy-izmeneniya-organizatsii-upravleniya-otkrytymi-gornymi-rabotami-s-primeneniem-robotizirovannoj-karernoj-tehnikoj>

### References

- Rylnikova M., Radchenko D., Klebanov D. Intelligent Mining Engineering Systems in the Structure of Industry 4.0. *E3S Web of Conferences*. 2017;21:01032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101032>
- Bataev A.V., Klebanov D.A. Reserves for enhancing the operation efficiency of mining companies: equipment repairs. *Russian Mining Industry*. 2013;(5):47–49. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/anonsy/5234-rezervy-povysheniya-operatsionnoj-effektivnosti-gornodobyvayushchikh-kompanij-remonty-oborudovaniya>
- Trubetskoy K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. *Contemporary management systems for mining and transport complexes*. St. Petersburg: Nauka; 2007. 306 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/16307?>
- Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V., Klebanov D.A., Makeev M.A. Scientific and technical aspects of the updating of management arrangements in surface mining in case of robotized open-pit machinery application. *Russian Mining Industry*. 2017;(5):27–30. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/13001-nauchno-tehnicheskie-voprosy-izmeneniya-organizatsii-upravleniya-otkrytymi-gornymi-rabotami-s-primeneniem-robotizirovannoj-karernoj-tehnikoj>

#### Информация об авторах

**Рыльникова Марина Владимировна** – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом теории проектирования освоения недр, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [rylnikova@mail.ru](mailto:rylnikova@mail.ru)

**Клебанов Дмитрий Алексеевич** – кандидат технических наук, заведующий 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](mailto:Klebanov_d@ipkonran.ru)

**Makeev Михаил Андреевич** – управляющий директор, ООО «Пиклема», г. Москва, Российская Федерация

**Кадочников Михаил Владимирович** – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем и цифровых технологий, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.05.2022

Поступила после рецензирования: 13.06.2022

Принята к публикации: 14.06.2022

#### Information about the authors

**Marina V. Rylnikova** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: [rylnikova@mail.ru](mailto:rylnikova@mail.ru)

**Dmitry A. Klebanov** – Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering), 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](mailto:Klebanov_d@ipkonran.ru)

**Mikhail A. Makeev** – Managing Director, “Piklema» LLC, Moscow, Russian Federation

**Mikhail V. Kadochnikov** – Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering), Research Associate at the Laboratory of Intelligent Systems and Digital Technologies, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

#### Article info

Received: 22.05.2022

Revised: 13.06.2022

Accepted: 14.06.2022