

## IT-технологии в проектировании, эксплуатации и ремонте горных машин

А.С. Иванов<sup>1</sup>✉, В.В. Макарова<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup> ПАО «Сбербанк», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>3</sup> Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ waldteufel@yandex.ru

**Резюме:** Целью исследования являются систематизация информации об основных направлениях применения IT-технологий в горном машиностроении, анализ эффективности внедрённых решений и выявление основных проблем и перспектив развития этой области. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения конкурентоспособности российских горных предприятий на глобальном рынке через внедрение передовых цифровых технологий. Проведён анализ современных IT-решений, включающих компьютерное моделирование при проектировании, системы диагностики технического состояния, интеграцию сенсорных технологий и Интернета вещей (IoT) для предиктивного обслуживания. Рассмотрены проблемы и барьеры внедрения цифровых технологий на горных предприятиях, а также выявлены перспективные направления развития. Показано, что комплексный подход к цифровизации горного производства, соответствующий парадигме Industry 4.0, позволяет повысить надёжность оборудования, оптимизировать сроки обслуживания и снизить операционные затраты на 15–25%. Результаты исследования могут быть полезны инженерам, конструкторам и руководителям горных предприятий при принятии решений о внедрении цифровых технологий.

**Ключевые слова:** IT-технологии, горные машины, CAD/CAM, IoT, сенсорные системы, предиктивное обслуживание, Industry 4.0, цифровизация

**Для цитирования:** Иванов А.С., Макарова В.В. IT-технологии в проектировании, эксплуатации и ремонте горных машин. *Горная промышленность*. 2026;(2):114–119. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-114-119>

## IT-technologies in design, operation and maintenance of mining machines

A.S. Ivanov<sup>1</sup> ✉, V.V. Makarova<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup> PAO Sberbank, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>3</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ waldteufel@yandex.ru

**Abstract:** The aim of the research was to systematize information on the main application areas of IT technologies in mining engineering, to analyze the efficiency of the solutions implemented, and to identify the main challenges and prospects for development in this field. The relevance of the research is defined by the need to ensure competitiveness of the Russian mining companies in the global market through implementation of advanced digital technologies. An analysis of modern IT solutions is provided, including computer modelling in designing, equipment health diagnostic systems, integration of the sensor technologies and the Internet of Things (IoT) for predictive maintenance. Problems and barriers to implementing digital technologies at mining enterprises are examined, and promising directions for development are identified. It is demonstrated that a comprehensive approach to digitalization of mining production relevant to the Industry 4.0 paradigm, enables improving equipment reliability, optimizing maintenance schedules, and reducing operating costs by 15-25 %. The research results can be valuable for engineers, designers, and managers of mining companies in making decisions on digital technology implementation.

**Keywords:** IT technologies, mining machinery, CAD/CAM, IoT, sensor systems, predictive maintenance, Industry 4.0, digitalization

**For citation:** Ivanov A.S., Makarova V.V. IT-technologies in design, operation and maintenance of mining machines. *Russian Mining Industry*. 2026;(2):114–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-114-119>

## **Введение**

Современная горная промышленность столкнулась с новыми вызовами: необходимостью повышения производительности при одновременном снижении себестоимости добычи, обеспечении безопасности персонала и соответствии требованиям экологического законодательства. Существенное улучшение операционных показателей возможно только путём внедрения информационных технологий (ИТ) в систему проектирования, эксплуатации и ремонта горных машин [1–3]. За последние пятнадцать лет произошли радикальные изменения в области компьютерного моделирования, систем мониторинга в реальном времени и анализа больших данных. Эти технологии, интегрированные в единую экосистему, создают предпосылки для перехода к индустрии 4.0, предполагающей полную цифровизацию производственных процессов [1; 3–5].

Целью данной статьи являются систематизация информации об основных направлениях применения ИТ-технологий в горном машиностроении, анализ эффективности внедрённых решений и выявление основных проблем и перспектив развития этой области. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения конкурентоспособности российских горных предприятий на глобальном рынке через внедрение передовых цифровых технологий, соответствующих парадигме Industry 4.0 [6].

## **Методология**

При подготовке данной работы применён системный анализ научных и технических публикаций, размещённых в базах данных elibrary.ru, scopus.com и google scholar, за период 2012–2025 гг., включая статьи в рецензируемых журналах, материалы конференций, технические отчёты ведущих компаний в области добычи полезных ископаемых (BCG, Nordgold, Hexagon Mining). Источниками данных об экономических эффектах служили отчёты мировых консалтинговых компаний<sup>1</sup>, а также информация, полученная из открытых источников о внедрённых на российских горных предприятиях системах мониторинга и предиктивного обслуживания.

## **Результаты**

### **Цифровизация на этапе проектирования горных машин**

Цифровое преобразование процесса проектирования горных машин создаёт условия для качественного улучшения конструкторской деятельности, сокращения времени выхода на рынок и снижения затрат на разработку. Рассмотрим основные инструменты и методологии, применяемые в современном горном машиностроении.

### **CAD/CAM-системы как основа современного конструирования**

Практическое применение систем автоматизированного проектирования (CAD – Computer-Aided Design) и изготовления (CAM – Computer-Aided Manufacturing) стало стандартом в горном машиностроении благодаря возможности создания трёхмерных моделей сложных изделий, проведения виртуального прототипирования и численного моделирования [7; 8].

Основные преимущества применения CAD/CAM при проектировании горных машин: сокращение времени разработки конструкции на 30–40%; возможность оптимизации

геометрии деталей под действующие нагрузки; снижение количества физических прототипов и испытаний; возможность проведения анализа напряжений (FEA – Finite Element Analysis) на ранних стадиях разработки; интеграция данных проектирования с системами планирования производства (ERP) [8]. Применение CFD-моделирования (Computational Fluid Dynamics) при проектировании гидравлических систем горных машин позволяет оптимизировать потоки рабочих жидкостей, снизить потери энергии и повысить эффективность систем охлаждения и смазки [9].

### **BIM-технологии в интегрированном проектировании**

Технология Building Information Modelling (BIM), хотя первоначально разработана для строительства, находит всё большее применение в проектировании горно-обогатительных комплексов и горных машин благодаря возможности создания комплексных цифровых моделей, содержащих не только геометрическую информацию, но и параметры материалов, стоимостей и сроки жизненного цикла изделий [10].

**Преимущества BIM-подхода** в горном машиностроении: интеграция данных из различных дисциплин (механика, электротехника, гидравлика); облегчение сотрудничества между конструкторами и производством; возможность прогнозирования затрат и сроков реализации проектов; создание базы данных для последующей эксплуатации и обслуживания машин.

**Информационные технологии в эксплуатации и диагностике.** На этапе эксплуатации горных машин информационные технологии обеспечивают систематический контроль технического состояния, выявление развивающихся дефектов и поддержку принятия оперативных решений по техническому обслуживанию и ремонту. Рассмотрим основные направления и инструменты, используемые в этой области.

### **Системы мониторинга технического состояния**

Мониторинг технического состояния горных машин на основе ИТ-систем представляет собой одно из приоритетных направлений повышения надёжности и безопасности. Современные системы мониторинга включают [11; 12]:

- 1) вибродиагностику с использованием акселерометров и спектрального анализа сигналов;
- 2) термографию инфракрасных излучений для контроля перегрева узлов трения и электрических компонентов;
- 3) анализ параметров масла (вязкость, содержание воды, концентрация продуктов износа);
- 4) контроль шумовых характеристик и других акустических параметров;
- 5) анализ давлений и температур в гидравлических и пневматических системах.

Эти методы позволяют выявить начальные признаки повреждений и спрогнозировать вероятный момент отказа за несколько недель или месяцев до наступления отказа [13].

### **Применение искусственных нейронных сетей в диагностике**

Интеллектуальная обработка массивов данных, получаемых от множества датчиков, осуществляется с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС), способных выявлять сложные нелинейные связи между входными параметрами и состоянием оборудования [14; 15]. Проведённые исследования показывают, что нейросетевые классифика-

<sup>1</sup> Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry. World Economic Forum, 2020. Available at: <https://www.weforum.org>

торы достигают точности распознавания предаварийных ситуаций на уровне 85–93% [16], что существенно превышает возможности традиционных пороговых методов контроля. Практическая реализация таких систем на российских горных предприятиях демонстрирует их эффективность при интеграции с SCADA-системами для автоматического управления и оптимизации работы оборудования в реальном времени <sup>2</sup>.

### **Системы предиктивного обслуживания и оптимизация жизненного цикла**

Переход от традиционного планово-предупредительного обслуживания к предиктивным моделям обслуживания представляет собой качественный скачок в управлении надёжностью горного оборудования. В данном разделе рассмотрены принципы построения, компоненты и экономические результаты внедрения систем предиктивного обслуживания.

### **Принципы и архитектура систем предиктивного обслуживания**

Для корректного понимания и внедрения систем предиктивного обслуживания следует определить, что под стратегией PdM (Predictive Maintenance) понимается совокупность управленческих и технических мер, при которых работы по техническому обслуживанию и ремонту выполняются только при наличии объективных признаков развивающейся деградации оборудования, выявленных путём непрерывного мониторинга и анализа данных [17; 18]. Архитектура системы PdM включает следующие компоненты: сенсорные узлы, установленные на оборудовании; данные, передаваемые в облачное хранилище или локальный центр обработки; алгоритмы анализа данных и машинного обучения; интерфейсы для взаимодействия с ERP- и MES-системами (Manufacturing Execution System); системы оповещения и управления заявками на обслуживание.

### **Экономический эффект и показатели эффективности**

Международный опыт показывает, что внедрение систем предиктивного обслуживания позволяет: снизить непредвиденные простои на 35–50%; сократить затраты на техническое обслуживание на 20–25%; увеличить срок службы оборудования на 15–20%; улучшить показатели безопасности труда (снижение LTIFR на 10–15%) [11]. При среднем сроке окупаемости внедрения PdM в 2–3 года совокупный экономический эффект за жизненный цикл горной машины составляет 15–25% от стоимости оборудования, что обосновано инвестицией в цифровизацию производства [4; 19].

### **Инструментальная база: интеграция IoT и сенсорных технологий**

Практическая реализация систем предиктивного обслуживания невозможна без современной сенсорной базы и сетевой инфраструктуры, позволяющих собирать, передавать и обрабатывать данные в реальном времени. Интернет вещей (IoT) в контексте горного производства представляет собой систему распределённого мониторинга с элементами локального и облачного анализа.

### **Архитектура IoT-решений в горном производстве**

Практическое воплощение IoT-концепции в горной про-

мышленности предусматривает развёртывание множества датчиков различного назначения, устанавливаемых как непосредственно на горных машинах и их критических узлах, так и в инфраструктуре горных предприятий (на конвейерах, в хранилищах, в системах водоснабжения и энергоснабжения). Типичная архитектура IoT-системы в горном производстве включает [20; 21]: уровень датчиков (Sensor Layer) – измерители давления, температуры, ускорения, влажности, концентрации газов и прочих параметров; уровень сетевой связи (Network Layer) – передача данных по LTE, 5G, Wi-Fi или специализированным промышленным протоколам (Modbus, OPC UA, MQTT); уровень обработки (Edge Computing и Cloud Computing) – промежуточная обработка данных на граничных устройствах и централизованная обработка в облаке; уровень приложений (Application Layer) – системы анализа, визуализации и принятия решений.

### **Примеры внедрённых IoT-решений на российских горных предприятиях**

На крупных российских горно-обогатительных комбинатах и карьерных предприятиях успешно внедрены системы мониторинга, основанные на IoT-технологиях [22]. Практический опыт показывает, что система контроля параметров экскаваторов позволяет операторам и диспетчерам в реальном времени отслеживать: нагрузки на рабочее оборудование [10]; производительность машины по часам; потребление топлива и электроэнергии; состояние отдельных компонентов (двигатели, трансмиссия, гидросистемы) [2]. Данные собираются на локальном сервере предприятия, подвергаются предварительной обработке и очистке, затем передаются в облачное хранилище для анализа долгосрочных тенденций и составления аналитических отчётов, используемых при планировании обслуживания и ремонта [22].

### **Обсуждение результатов Препятствия и возможности цифровизации в горной промышленности**

Несмотря на очевидные преимущества и растущий объём успешных внедрений процесс цифровизации в российской горной промышленности сталкивается с рядом объективных и субъективных барьеров. Одновременно открываются новые возможности для развития на основе отечественных инноваций.

### **Основные барьеры и вызовы при внедрении IT-решений**

Анализ практики внедрения IT-решений на российских горных предприятиях показывает, что наиболее часто встречаются следующие категории проблем [4; 5]:

1. Высокие капитальные затраты на приобретение оборудования, лицензионного программного обеспечения и обучение персонала [23].
2. Отсутствие национальных стандартов в области цифровизации горного производства, что затрудняет унификацию решений <sup>3</sup>.
3. Кибербезопасность – защита критической инфраструктуры от несанкционированного доступа и киберугроз.
4. Дефицит квалифицированных специалистов в области Data Science и системного анализа на горных предприятиях.

<sup>2</sup> SCADA Systems in Mining. International Society of Automation (ISA), 2023. Available at: <https://www.isa.org>

<sup>3</sup> Industrie 4.0 Maturity Index. Managing Digital Transformation of Companies. Acatech, Update 2020. Available at: <https://www.acatech.de>

5. Интероперабельность различных систем и платформ, разработанных разными производителями <sup>4</sup>.
6. Надёжность сетевой связи в условиях подземных горных работ и удалённых месторождений [21].

#### **Перспективные направления развития и инновационные решения**

1. Расширение применения искусственного интеллекта и глубокого обучения для более точного прогнозирования отказов и оптимизации производственных процессов [14–16].
2. Развитие отечественных IoT-платформ, адаптированных под условия горных предприятий и требования российского законодательства [20].
3. Внедрение дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) в системы подготовки операторов и проведения технических работ [23].
4. Интеграция цифровых двойников (Digital Twin) машин и производственных систем для моделирования различных сценариев и оптимизации графиков обслуживания [7].
5. Развитие стандартов и нормативно-правовой базы в области цифровизации горной промышленности на уровне государства <sup>5</sup> [24].

#### **Выводы и рекомендации**

Проведённый анализ показывает, что применение информационных технологий в проектировании, эксплуатации и техническом обслуживании горных машин является объективной необходимостью в условиях современной глобальной конкуренции и растущих требований к экономичности, надёжности и безопасности производства. Комплексная цифровизация производства в соответствии с парадигмой Industry 4.0 создаёт условия для российских горных предприятий улучшить операционные показатели, обеспечить техническую безопасность и заметно укрепить позиции на мировом рынке.

<sup>4</sup> MICROMINE GEOVIA MineSched Software. Hexagon Mining, 2024. Available at: <https://www.hexagonmining.com>

<sup>5</sup> Industrie 4.0 Maturity Index. Managing Digital Transformation of Companies. Acatech, Update 2020. Available at: <https://www.acatech.de>; Platform Industrie 4.0. Plattform Industrie 4.0, 2024. Available at: <https://www.plattform-i40.de>

#### **Основные результаты исследования:**

1. Цифровизация проектирования горных машин (CAD/CAM, BIM, FEA, CFD) сокращает время разработки на 30–40% и позволяет провести комплексную оптимизацию конструкции до этапа физического прототипирования [7–9].
2. Системы мониторинга технического состояния, основанные на комбинации традиционных методов диагностики и нейросетевых алгоритмов, обеспечивают прогнозирование отказов с точностью 85–93 %, что позволяет перейти от реактивного к предиктивному обслуживанию [12; 14–16].
3. Внедрение систем предиктивного обслуживания даёт экономический эффект 15–25% за жизненный цикл оборудования с периодом окупаемости 2–3 года [11; 19].
4. Интеграция IoT-технологий и облачных платформ обеспечивает сбор и анализ данных в реальном времени, подерживая принятие оптимальных управленческих решений [20–22].

#### **Рекомендации для практического внедрения:**

1. Ключевым фактором успеха внедрения IT-технологий является системный подход, включающий не только приобретение оборудования и лицензионного программного обеспечения <sup>6</sup>, но и развитие кадрового потенциала, создание современной нормативно-правовой базы, совместимой с международными стандартами <sup>7</sup>, и формирование корпоративной культуры цифровизации на предприятиях.
2. Дальнейшие исследования в этой области должны быть сосредоточены на разработке российских решений для IoT-платформ, систем искусственного интеллекта и управления жизненным циклом горных машин, специально адаптированных к условиям отечественной горной промышленности и требованиям федерального законодательства в области безопасности и экологии <sup>8</sup> [24].

<sup>6</sup> MICROMINE GEOVIA MineSched Software. Hexagon Mining, 2024. Available at: <https://www.hexagonmining.com>

<sup>7</sup> Industrie 4.0 Maturity Index. Managing Digital Transformation of Companies. Acatech, Update 2020. Available at: <https://www.acatech.de>

<sup>8</sup> Platform Industrie 4.0. Plattform Industrie 4.0, 2024. Available at: <https://www.plattform-i40.de>

#### **Список литературы / References**

1. Bi L., Wang Z., Wu Z., Zhang Y. A new reform of mining production and management modes under Industry 4.0: Cloud mining mode. *Applied Sciences*. 2022;12(6):2781. <https://doi.org/10.3390/app12062781>
2. Абу-Абед Ф.Н., Наумова Л.Г. IT-технологии в автоматизации технологических процессов в горной промышленности. *Техника и технология горного дела*. 2019;(3):21–35. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2019-3-21-35>  
Abu-Abed F.N., Naumova L.G. IT-technologies in technological process automation in mining. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019;(3):21–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2019-3-21-35>
3. Mikhailov A.V., Zhigulskaya A.I., Kasakov Y.A. Modeling of peat tractor semi-trailer motion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1061:012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1061/1/012026>
4. Великанов В.С., Гришин И.А., Акманова З.С., Лукашук О.А., Лукашук А.Д. Современные аспекты создания горнотранспортных машин в условиях цифровой трансформации горных предприятий. *Горная промышленность*. 2024;(5S):28–32. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-28-32>  
Velikanov V.S., Grishin I.A., Akmanova Z.S., Lukashuk O.A., Lukashuk A.D. Contemporary aspects of designing mining transport machines in the context of digital transformation of mining operations. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S): 28–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-28-32>

5. Балашов А.М. Перспективы использования цифровых решений и возможностей «Индустрии 4.0» в производственных процессах предприятий горной промышленности. *Теоретическая экономика*. 2024;(2):46–53. Режим доступа: <https://chemintech.ru/ru/nauka/article/80996/view> (дата обращения: 28.12.2025).  
Balashov A.M. Prospects for the use of digital solutions and the capabilities of industry 4.0 in the production processes of mining enterprises. *Theoretical Economics*. 2024;(2):46–53. (In Russ.) Available at: <https://chemintech.ru/ru/nauka/article/80996/view> (accessed: 28.12.2025).
6. Velikanov V.S., Dyorina N.V., Korotkova A.N., Dyorina K.S. The challenges of Industry 4.0 and the need for new answers in the mining industry. *Izvestiya Uralskogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta*. 2021;(2):154–166. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-2-154-166>
7. Дремин А.В., Великанов В.С. К вопросу о гранулометрическом составе взорванных скальных пород. *Горная промышленность*. 2023;(4):73–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-73-78>  
Dremin A.V., Velikanov V.S. Regarding the particle-size composition of blasted rocks. *Russian Mining Industry*. 2023;(4):73–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-73-78>
8. Дремин А.В., Великанов В.С. Цифровые технологии для взрывных работ: интеллектуальный автономный программно-аппаратный комплекс компании «Давтех» для анализа гранулометрического состава горных пород. *Горная промышленность*. 2023;(6):57–62. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-57-62>  
Dremin A.V., Velikanov V.S. Digital technologies in blasting: DAVTECH's intelligent autonomous hardware-andsoftware suite for analyzing particle size distribution of rocks. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):57–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-57-62>
9. Суслов Н.М., Давыдов С.Я., Суслов Д.Н., Чернухин С.А., Великанов В.С. Тепловой расчет гидропривода механизма шагания драглайна. *Новые огнеупоры*. 2019;(12):10–12. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2019-12-10-12>  
Suslov N.M., Davydov S.Y., Suslov D.N., Chernukhin S.A., Velikanov V.S. Thermal calculation of the hydraulic drive of the dragline walking mechanism. *Novye Ogneupory*. 2019;(12):10–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2019-12-10-12>
10. Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом. *Горная промышленность*. 2024;(2):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>  
Salimov A.E., Shibanov D.A., Ivanov S.L. Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>
11. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора как эргатической системы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):144–158. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_111\\_0\\_144](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_144)  
Shibanov D.A., Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S. Efficiency of operation of a quarry excavator as an ergatic system. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):144–158. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_111\\_0\\_144](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_144)
12. Ivanov S.L., Shishkin P.V. Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;87:022009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022009>
13. Zvonarev I.E., Ivanov S.L. Evaluation of losses in transmission of machinery for development of mineral deposits in conditions of variable load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;87:022024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022024>
14. Шишлянников Д.И., Иванов С.Л., Звонарев И.Е., Зверев В.Ю. Повышение эффективности применения выемочных и транспортирующих машин комбайновых комплексов калийных рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(9):116–124. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124>  
Shishlyannikov D.I., Ivanov S.L., Zvonarev I.E., Zverev V.Yu. Improving efficiency of shearing and hauling machines in longwall potash mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(9):116–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124>
15. Лях Д.Д., Худякова И.Н., Иванов С.Л. Обоснование параметров модуля формирования торфяного сырья и энергомассовых характеристик комплекса оборудования по добыче и переработке торфа. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6):93–108. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_6\\_0\\_93](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_93)  
Lyakh D.D., Khudyakova I.N., Ivanov S.L. Justification of peat block-making module parameters and mass/power characteristics for peat production machinery. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6):93–108. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_6\\_0\\_93](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_93)
16. Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Недашковская Е.С. Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 1). *Горная промышленность*. 2024;(3):143–148. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>  
Sheshukova E.I., Shibanov D.A., Ivanov S.L., Nedashkovskaya E.S. Assessment of loads acting on the working attachment of a mine shovel (Part 1). *Russian Mining Industry*. 2024;(3):143–148. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>
17. Хамидов О.У., Шибанов Д.А., Шишкин П.В., Колпаков В.О. Эффективность применения экскаваторов на карьерах Узбекистана. *Горная промышленность*. 2024;(5):135–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-135-142>  
Khamidov O.U., Shibanov D.A., Shishkin P.V., Kolpakov V.O. Efficiency of excavators application in open pit mines of Uzbekistan. *Russian Mining Industry*. 2024;(5):135–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-135-142>

18. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Соловьев И.В. Анализ элементов блочной технологии поверхностной выемки органогенного сырья. *Горная промышленность*. 2025;(1):129–136. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-129-136>  
Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Soloviev I.V. V Analysis of block technology elements for surface excavation of organogenic material. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):129–136. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-129-136>
19. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Казаков Ю.А. Рациональная технология комплексной разработки торфяных месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(1):66–69. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>  
Mikhailov A.V., Zhigul'skaya A.I., Kazakov Yu.A. Rational technology for integrated mining of peat deposits. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):66–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
20. Дремин А.В., Ситдикова С.В., Великанов В.С., Стожков Д.С., Гришин И.А. Анализ кусковатости горных пород в реальном времени с использованием отечественного программно-аппаратного обеспечения. *Горная промышленность*. 2025;(3):118–123. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-118-123>  
Dremin A.V., Sitdikova S.V., Velikanov V.S., Stozhkov D.S., Grishin I.A. Real-time analysis of particle size distribution of rocks using a domestic software and hardware complex. *Russian Mining Industry*. 2025;(3):118–123. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-118-123>
21. Великанов В.С., Гришин И.А., Лукашук О.А., Ситдикова С.В. О добыче, механизации и обезвоживании торфяного сырья: краткий обзор. *Горная промышленность*. 2024;(6):68–73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-68-73>  
Velikanov V.S., Grishin I.A., Lukashuk O.A., Sitdikova S.V. On mining, mechanization and dewatering of peat raw materials: a brief review. *Russian Mining Industry*. 2024;(6):68–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-68-73>
22. Михайлов А.В., Казаков Ю.А. Методология оценки многократной проходимости горнотранспортного агрегата по слабым грунтам. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(8):95–110. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_8\\_0\\_95](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_95)  
Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A. Estimation procedure of multiple passability of hauling unit on weak ground. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(8):95–110. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_8\\_0\\_95](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_95)
23. Великанов В.С. Тестовые методики и тренажерные средства в системе повышения профессионального мастерства операторов горных машин. *Горный журнал*. 2012;(9):131–133. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/949/article/14870/> (дата обращения: 28.12.2025).  
Velikanov V.S. Test methodologies and training facilities in the system of professional skill increasing of mining machines' operators. *Gornyi Zhurnal*. 2012;(9):131–133. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/949/article/14870/> (accessed: 28.12.2025).
24. Загирный В.А. Геометаллургия: комплексный подход к цифровизации управления качеством рудопотоков на примере ЕВРАЗ Качканарского горно-обогатительного комбината. *Горная промышленность*. 2025;(5S):59–63. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-59-63>  
Zagirny V.A. Geometallurgy: an integrated approach to digitalization of the ore flow quality management using the case of the EVRAZ Kachkanar Mining and Processing Plant. *Russian Mining Industry*. 2025;(5S):59–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-59-63>

**Информация об авторах**

**Иванов Алексей Сергеевич** – кандидат технических наук, руководитель направления, ПАО «Сбербанк», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [waldteufel@yandex.ru](mailto:waldteufel@yandex.ru)

**Макарова Валерия Викторовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и комплексов, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация; доцент кафедры подъемно-транспортных машин и роботов, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-4148-5556>; e-mail: [v.v.makarova@urfu.ru](mailto:v.v.makarova@urfu.ru)

**Information about the authors**

**Alexey S. Ivanov** – Cand. Sci. (Eng.), Director of Digital Technologies, PAO Sberbank, Moscow, Russian Federation; e-mail: [waldteufel@yandex.ru](mailto:waldteufel@yandex.ru)

**Valeria V. Makarova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mining Machines and Complex Equipment, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; Associate Professor, Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4148-5556>; e-mail: [v.v.makarova@urfu.ru](mailto:v.v.makarova@urfu.ru)

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 28.12.2025

Поступила после рецензирования: 09.02.2026

Принята к публикации: 11.02.2026

**Article info**

Received: 28.12.2025

Revised: 09.02.2026

Accepted: 11.02.2026