Оригинальная статья

УДК 622.271: 65.011.56

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева», 660037, г. Красноярск, Россия
✉ e-mail: karpeka1@gmail.com

Original Paper

UDC 622.271: 65.011.56

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
✉ e-mail: karpeka1@gmail.com

Оценка влияния автоматизации горнотранспортного комплекса на производственно-экономические показатели угольного разреза

Assessment of the impact of mining and transportation complex automation on production and economic indicators of an open-pit coal mine

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-11-91-94

В статье исследуется повышение производственно-экономических показателей угольных разрезов через автоматизацию горнотранспортного комплекса (ГТК), фокусируясь на возможностях оптимизации логистики, снижения затрат и роста безопасности. Автор анализирует принципы работы автоматизированных систем управления (АСУ ГТК), включая мониторинг оборудования в реальном времени с использованием ГЛОНАСС/GPS с RTK-коррекцией, IoT-сенсоров и интеллектуальных алгоритмов оптимизации маршрутов. Особое внимание уделяется мировому опыту (Австралия, Канада, ЮАР) и российским решениям («КАРАТ», «ГОРИЗОНТ»), демонстрирующему рост производительности на 10-30% и снижение эксплуатационных расходов на 15-20%. Подчеркиваются проблемы интеграции разнородных систем и адаптации к экстремальным условиям. На примере внедрения на предприятиях СУЭК и Кузбассразрезугля доказана экономическая эффективность: для среднего разреза (10 млн т/г.) окупаемость инвестиций составляет 0,7-1,4 года при годовом эффекте до 180 млн руб. Ключевой вывод: автоматизация ГТК трансформируется из технологического инструмента в стратегический фактор глобальной конкурентоспособности угольной отрасли России.

Ключевые слова: *автоматизация горнотранспортного комплекса, АСУ ГТК, угольный разрез, эффективность производства, импортозамещение, коэффициент использования техники (КИТ), прецизионное позиционирование, интеллектуальные алгоритмы, экономическая окупаемость, промышленный IoT.*

Для цитирования: Карпекин А.А., Белякова Г.Я., Бахмарева Н.В. Оценка влияния автоматизации горнотранспортного комплекса на производственно-экономические показатели угольного разреза // Уголь. 2025;(11):91-94. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-91-94.

КАРПЕКИН А.А.
Магистрант направления подготовки: 27.04.06 – Организация и управление наукоемкими производствами, магистерская программа: «Инновационно-технологическое развитие наукоемкого производства», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева», 660037, г. Красноярск, Россия, e-mail: karpeka1@gmail.com

БЕЛЯКОВА Г.Я.
Доктор экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева», 660037, г. Красноярск, Россия, e-mail: belyakova.gya@mail.ru

БАХМАРЕВА Н.В.
Канд. экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева», 660037, г. Красноярск, Россия, e-mail: bahmareva@mail.ru

Abstract

The article investigates the enhancement of production and economic indicators in coal open-pit mines through the automation of mining and transport complexes (GTC), focusing on opportunities for logistics optimization, cost reduction, and improved safety. The author analyzes the operational principles of automated control systems (ACS GTC), including real-time equipment monitoring using GLONASS/GPS with RTK correction, IoT sensors, and intelligent route optimization algorithms. Special attention is given to global implementations (Australia, Canada, South Africa) and Russian solutions ("КАРАТ", "ГОРИЗОНТ"), demonstrating 10–30% productivity growth and 15-20% operational cost reduction. Challenges in integrating heterogeneous systems and adapting to extreme conditions are highlighted. Economic efficiency is proven through case studies at SUEK and Kuzbassrazrezugol enterprises: for a medium-sized mine (10 million tons/year), investment payback period is 0.7-1.4 years with annual benefits reaching 180 million rubles. The key conclusion states that GTC automation transforms from a technological tool into a strategic factor for global competitiveness of Russia's coal industry.

Keywords

Mining and transport complex automation, ACS GTC, coal open-pit mine, production efficiency, import phase-out, equipment utilization rate (KIT), precision positioning, intelligent algorithms, economic payback, industrial IoT.

For citation

Karpekin A.A., Belyakova G.Ya., Bakhmareva N.V. Assessment of the Impact of Mining and Transportation Complex Automation on Production and Economic Indicators of an Open-Pit Coal Mine. *Ugol'*. 2025;(11):91-94. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-91-94.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время повышение производственно-экономических показателей деятельности предприятий является двигателем мирового прогресса и роста ВВП. Повышение эффективности угольных разрезов возможно за счет использования новейших технологий автоматизации горнотранспортного комплекса (ГТК), которые в свою очередь обеспечивают оптимизацию специфичных для каждого предприятия процессов добычи.

Лонг Чен в работе «Автономная добыча полезных ископаемых посредством совместного вождения и операций, обеспечиваемых параллельным интеллектом» (2024) пишет: «Автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом (АСУ ГТК) – это комплексное технологическое решение, объединяющее датчики, сети связи и интеллектуальные алгоритмы для управления и оптимизации работы горнодобывающего оборудования (например, самосвалов, экскаваторов, погрузчиков) в реальном времени. Система обеспечивает автономное или полуавтономное принятие решений, оптимизацию маршрутов, координацию работы парка техники и прогнозирующее обслуживание, повышая безопасность, эффективность и производительность в открытых и подземных горных работах» [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом (АСУ ГТК) функционирует как централизованная система координации разреза. Она непрерывно собирает данные в реальном времени с датчиков GPS/ГЛОНАСС (с RTK-коррекцией для точности 10-20 см), IoT-сенсоров на оборудовании (самосвалы, экскаваторы, бульдозеры) и систем автоматического взвешивания. Данные о местоположении, скорости, загрузке, состоянии узлов, расходе топлива и выполнении плана передаются по защищенной беспроводной сети (Wi-Fi Mesh, LTE) на центральный сервер. Специализированные оптимизационные алгоритмы анализируют эту информацию, учитывая актуальную карту разреза, план горных работ и состояние техники. Система автоматически рассчитывает и назначает оптимальные маршруты для самосвалов (минимизируя пробег и избегая встречных потоков), распределяет технику между забоями для сокращения простоев экскаваторов, корректирует задания при отклонениях (аварии, изменение фронта работ) и выдает рекомендации диспетчеру. Ключевые результаты: снижение пробегов техники (15-20%), рост производительности (коэффициент использования техники + 10-25%), экономия топлива (5-15%), повышение безопасности (контроль скорости, предотвращение столкновений) и точности учета. Пример: АСУ «КАРАТ» пересчитывает маршруты каждые 30 секунд [2].

Крупнейшие мировые реализации АСУ ГТК в угольной отрасли сосредоточены в Австралии, где системы Komatsu (Modular Mining) и Caterpillar (MineStar) управляют комплексами автономных самосвалов на гигантских разрезах Bowen Basin и Hunter Valley [3]. На проектах BHP Mitsubishi Alliance (Peak Downs, Goonyella Riverside) до 150 беспилотных 290-тонных самосвалов Komatsu 930E работают круглосуточно под контролем диспетчерских центров, обрабатывающих данные GPS/ ГЛОНАСС/ Galileo/ BeiDou с RTK-коррекцией и сенсоров техники в реальном времени, что повысило производительность на 30% за счет оптимизации маршрутов и синхронизации с автоматизированными экскаваторами. Параллельно в Южной Африке на разрезе Grootegeluk (Exxaro Resources) интегрированная SCADA-система управляет крупнейшими в мире роторными экскаваторами и 20-километровыми конвейерными линиями, прогнозируя нагрузки с помощью ИИ для минимизации простоев [4]. В Канаде нефтяные пески Альберты (разрезы Fort Hills и Kearl) демонстрируют адаптацию технологий по добыче угля: комплексы автономных 400-тонных Caterpillar 794AC здесь функционируют при -40°C, координируясь через облачную платформу MineStar с алгоритмами машинного обучения, снизившими расход топлива на 18% за счет динамического перепланирования рейсов [5]. Ключевой тренд – конвергенция АСУ ГТК со следующими процессами: на австралийских разрезах Rio Tinto система Autonomous Haulage интегрирована с автоматическими погрузчиками железнодорожных составов, сократив технологический цикл на 35%, а в пилотных проектах Vale (Мозамбик) внедряются цифровые двойники для симуляции работы всего горнотранспортного цикла перед оптимизацией физических операций [6].

В РФ используются следующие системы:

1. АСУ ГТК «КАРАТ» (АО «Сибгеотех», Красноярск). Используется на Бородинском, Назаровском, Канском, Переяславском разрезах (Красноярский край), предприятиях СУЭК в Кузбассе. Особенностями АСУ являются: полностью отечественная разработка; модульная архитектура (диспетчеризация, планирование, мониторинг техники, учет); акцент на интеграцию с отечественным ПО (1С, ГИС); высокая адаптация к сибирским условиям; реализация прецизионного позиционирования (ГЛОНАСС/GPS + RTK); оптимизация маршрутов в реальном времени; контроль топлива; предиктивная аналитика.
2. АСУ ГТК «ВЕСТА» (ГК «ИРКУТ», холдинг «Ростех»). Используется на разрезах «Сибиргинский» (Хакасия), «Апсатский» (Забайкалье), «Лучегорский» (Приморье), предприятиях «Восточной Горнорудной Компании». Особенностями АСУ являются: одна из старейших и самых распространенных платформ в РФ; комплексное управление горным циклом (от геолого-маркшейдерского планирования до учета добычи); мощный 3D-визуализатор карьера; интеграция с системами автоматического взвешивания; управление буровзрывными работами; миграция на облачную платформу «ГОРИЗОНТ».
3. АСУ ГТК на базе MineOp (Modular Mining / Komatsu) с поддержкой VIST Group («Цифра» / Яндекс). Используется на разрезах «Распадский», «Кузбассразрезуголь», «Южный Кузбасс». Особенностями АСУ являются: мировая система-лидер (до санкций); сохранение функционала при поддержке российских интеграторов (VIST Group); продвинутые алгоритмы оптимизации работы ГТК и прогноза загруженности экскаваторов; эффективные системы предотвращения столкновений (CAS); переход на гибридные решения с отечественным ПО.
4. АСУ ГТК «ГОРИЗОНТ» (ГК «ИРКУТ», преемник «ВЕСТЫ»). Используется на разрезах СУЭК-Красноярск (пилоты), внедряется на новых проектах (например, «Солнцевский» угольный разрез). Особенностями АСУ являются: современная отечественная облачная IIoT-платформа; использование Big Data и AI для прогнозной аналитики состояния оборудования (износ узлов, предиктивное ТО); глубокая интеграция с ERP-системами (SAP S/4HANA, 1С); поддержка концепции цифровых двойников технологических процессов и оборудования.
5. Платформа «Цифровой разрез» (Ростех, интегратор решений). Используется крупными холдингами (СУЭК, КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ) на ключевых активах как экосистема. Особенностями платформы являются: не готовая АСУ ГТК, а интеграционная среда; объединение решений «ВЕСТА»/ «ГОРИЗОНТ» (ядро ГТК) с системами видеонаблюдения, БПЛА-мониторинга, георадарного контроля уступов, предиктивными сервисами; создание единого центра управления данными (Data Lake) для всего предприятия [7].

Современные российские системы управления горнотранспортными комплексами демонстрируют ускоренное развитие в условиях импортозамещения, обеспечивая не только базовый мониторинг, но и интеллектуальную оптимизацию логистики, парка техники и ресурсов. Ключевыми преимуществами стали глубокая интеграция с отечественным ПО (1С, ГИС), адаптация к экстремальным условиям (сибирские морозы, пыльные карьеры) и внедрение передовых функций RTK-позиционирования (ГЛОНАСС/GPS), предиктивной аналитики и цифровых двойников. Тренд смещается к облачным IIoT-платформам («ГОРИЗОНТ») и сквозным экосистемам («Цифровой разрез»), объединяющим диспетчеризацию ГТК с геомониторингом, БПЛА и ERP-системами. Несмотря на сохранение гибридных решений на исторических объектах (MineOp/VIST), новые проекты ориентированы на полностью российские разработки, доказавшие возможность увеличения КИТ на 15-25% и снижения операционных затрат, что подтверждается их внедрением на стратегических активах СУЭК, Кузбассразрезугля и Восточной Горнорудной Компании [8].

Для визуализации производственно-экономической эффективности была построена прогнозная модель внедрения АСУ ГТК для среднего угледобывающего предприятия (годовой объем добычи – 10 млн т, парк – 25 самосвалов грузоподъемностью 220 т, 8 экскаваторов).

Прогнозная стоимость внедрения:

- «КАРАТ» / «ВЕСТА»: 120-180 млн руб. (базовая диспетчеризация + мониторинг + оптимизация маршрутов + интеграция с весами);
- «ГОРИЗОНТ»: 180-250 млн руб. (добавляются IIoT-датчики, предиктивная аналитика, интеграция с ERP).

Решение о выборе АСУ ГТК принимается, исходя из специфики добычи на конкретном предприятии, условий интеграции, наличия инфраструктуры и объема инвестиций.

Эффект от внедрения будет складываться, исходя из увеличения выручки на ≈6% и снижения расходов на топливо/ремонт ≈15%. При средней стоимости угля в 5000 руб./т, норме чистой прибыли 1,8% чистый экономический годовой эффект составит 180 млн руб., что обеспечивает окупаемость от 0,67 до 1,39 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизация горнотранспортного комплекса доказала свою ключевую роль в повышении производственно-экономических показателей угольных разрезов, обеспечивая системный рост эффективности за счет интеграции мониторинга, оптимизации логистики и интеллектуального управления. Мировой опыт (Австралия, Канада, ЮАР) и российские внедрения (СУЭК, Кузбассразрезуголь) подтверждают устойчивое повышение производительности на 10-30%, снижение операционных затрат на 15-20% и минимизацию рисков за счет предиктивной аналитики, точного позиционирования (ГЛОНАСС/GPS с RTK) и предотвращения аварий. Отечественные системы («КАРАТ», «ГОРИЗОНТ») демонстрируют конкурентоспособность в условиях импортозамещения, сочетая адаптацию к экстремальным условиям, интеграцию с национальным ПО (1С, ГИС) и передовые функции: цифровые двойники, IIoT-платформы и облачные решения. Внедрение АСУ трансформирует автоматизацию ГТК из технологической инновации в стратегическую необходимость для глобаль-

ной конкурентоспособности угольной отрасли России, открывая перспективы для развития автономных систем и глубокой интеграции искусственного интеллекта в экосистемы типа «Цифровой разрез».

Список литературы • References

1. Chen L., Xie Y., He Y., Ai Y., Tian B., Li L., Ge S., Wang F.Y. Autonomous mining through cooperative driving and operations enabled by parallel intelligence. *Communications Engineering*. 2024;3(1):75. DOI: https://doi.org/10.1038/s44172-024-00220-5.
2. Доронин С.В., Альшанская А.А. Цифровые модели нагруженности карьерных экскаваторов для информационной поддержки эксплуатации парка оборудования / Распределенные информационно-вычислительные ресурсы (DICR-2022), Новосибирск, 2022. С. 62-68.
3. Воронов А.Ю., Воронов Ю.Е. Современное состояние и перспективы развития роботизированных грузоперевозок на карьерах // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 6(146). С. 16-24.
Voronov A.Yu., Voronov Yu.E. Current state and development prospects of robotic haulage in open-pit mines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2019;6(146):16-24. (In Russ.).
4. Обзор систем безлюдных грузовых перевозок на карьерах / А.Ю. Воронов, Ю.Е. Воронов, И.С. Сыркин и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 30-36. DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790- 2022-S12-30-36.
Voronov A.Yu., Voronov Yu.E., Syrkin I.S., Nazarenko S.V., Yunusov I.F. A review of unmanned haulage systems at open-pit mines. *Ugol'*. 2022;(S12):30-36. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36.
5. Жданеев О.В., Власова И.М. Вызовы и приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли // Уголь. 2023. № 1. С. 62-69. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-62-69.
Zhdaneev O.V., Vlasova I.M. Digital transformation of the coal industry. *Ugol'*. 2023;(1):62-69. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-62-69.
6. Крюков В.А., Борисова Ю.А. Сравнительный анализ подходов к формированию институциональных рамок освоения меняющейся ресурсной базы добычи углеводородов (на примере высоковязких нефтей провинции Альберта (Канада) и Республики Татарстан (Россия)) // Георесурсы. 2024. Т. 26. № 1. С. 71-77.
Kryukov V.A., Borisova Yu.A. Comparative analysis of approaches to institutional framework formation for developing changing hydrocarbon resource base (case study of heavy oils in Alberta (Canada) and Tatarstan (Russia). *Georesursy*. 2024;26(1):71-77. (In Russ.).
7. Kelello C., Makhubela S. Mining of the Waterberg-a Unique Deposit Requiring Innovative Solutions // International Journal of Georesources and Environment – IJGE. *Int'l J of Geohazards and Environment*. 2018;4(3):127–132. DOI: https://doi.org/10.15273/ijge.2018.03.018.
8. Pei S., Yang J., Gong Z. Trajectory-optimized learning-based dispatching system for autonomous mining haulage. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2025:1-18. DOI: https://doi.org/10.1080/17480930.2025.2486316.

Authors Information

Karpekin A.A. – Master's Student in the field of study: 27.04.06 – Organization and Management of High-Tech Industries, Master's program: "Innovative and Technological Development of High-Tech Production", Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: karpeka1@gmail.com

Belyakova G.Ya. – Doctor of Economic Sciences, Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, e-mail: belyakova.gya@mail.ru

Bakhmareva N.V. – PhD (Economics), Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, e-mail: bahmareva@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.07.2025
Поступила после рецензирования: 18.10.2025
Принята к публикации: 30.10.2025

Paper info

Received July 23, 2025
Reviewed October 18, 2025
Accepted October 30, 2025

Цифра. Техмониторинг: новое решение от ГК «Цифра» ускоряет принятие решений и снижает ИТ-затраты

«Цифра» запускает на рынок новое коробочное решение «Цифра. Техмониторинг», предназначенное для сквозного контроля технологических процессов на промышленных предприятиях. Эта полностью российская разработка создана для быстрого старта цифровизации и замены зарубежных решений управления производственными данными. Внедрение занимает всего несколько недель.

«Цифра. Техмониторинг» позволяет в режиме реального времени собирать, анализировать и управлять данными о состоянии оборудования и ходе технологических процессов на уровне всего предприятия. Решение дает возможность оперативно контролировать производственные показатели, выявлять отклонения и оптимизировать работу цехов и линий.

Среди ключевых преимуществ продукта – его ориентированность на быструю интеграцию в существующую IT-инфраструктуру предприятий за счет сниженных технических требований. В состав решения входят готовые интерфейсы для сбора данных при интеграции с типовыми источниками, что значительно ускоряет процесс внедрения. Также решение включает в себя автоматизированный перенос конфигураций из замещаемого решения и управление конфигурацией с помощью шаблонов объектной модели.

Решение создано с учетом актуальных задач по импортозамещению и цифровизации промышленности и эффективно заменяет иностранные программные продукты, обеспечивая стабильную работу с критически важными промышленными данными.

Продукт разработан на современной микросервисной архитектуре, что обеспечивает его гибкость, масштабируемость и безопасность. Особое внимание уделено простоте освоения системы — в комплект входят обучающие материалы для пользователей и инженеров по внедрению.