

Цифровизация и автоматизация горных работ: тренды, вызовы и перспективы

Майнекс Россия 2025
Результаты совместного исследования Pieff и Геомикс

Октябрь 2025 г.



1	Резюме: подход к исследованию, основные тенденции и предпосылки цифровизации	1
2	Внедренные цифровые технологии и достигнутые эффекты (ретроспективный взгляд)	8
3	Карта дальнейшей цифровой трансформации – кейсы и тренды	22
4	Рекомендации для дальнейшей «умной» цифровизации	37



Резюме выводов по разделам исследования

Исследование опыта и трендов развития цифровизации горных работ ведущих Российских горнодобывающих и угольных компаний было проведено летом 2025 года. Респондентами выступили компании, осуществляющие добычу золота, меди, никеля и других цветных металлов, а также железа, минеральных солей и угля

В результате исследования было проанализировано более 100 кейсов цифровых инструментов, реализованных для открытой и подземной добычи руды и угля компаниями респондентами, и выявлены тренды по анализируемым направлениям: 1) формированию **дорожной карты цифровизации**; 2) **внедренным решениям** и полученным результатам, в том числе изменению процессных КПЭ; 3) возникающим **сложностям и барьерам** при реализации изменений

Дорожная карта цифровизации. 100% респондентов имеют дорожные карты цифровизации с регулярным рассмотрением статуса на уровне топ-менеджмента, но существуют различия в согласовании инициатив для включения в дорожную карту – для части компаний важен эффект, для других приемлем подход необходимости внедрения цифровых решений как «базовой цифровой гигиены»

Внедренные решения:

- Большинство компаний реализовали необходимую инфраструктуру для учета геоданных как базы для долго- и среднесрочного планирования горных работ, но гораздо меньше участников исследования перешли к краткосрочному (сменно-суточному) планированию и созданию цифровых двойников
- Респондентами отмечена реализация диспетчерских центров для оперативного управления горными работами, часть опрошенных задумываются и ищут проверенные решения для реализации динамической диспетчеризации
- Выявлена тенденция подготовки базы для обеспечения автономности буровых установок, осуществляющих работы на основании цифровых паспортов бурения
- Часть компаний тестируют автономные автосамосвалы, и решают вопросы с обеспечением инфраструктуры для развертывания технологий в рамках целых активов

Определены тенденции, образ рудника и шахты будущего в составе единой информационной системы, обеспечивающие безопасную добычу при минимальном вовлечении человека, а также отмечены шаги респондентов по данному направлению

Сложности и барьеры. Респонденты отметили сложности с 1) наличием готовых ИТ решений на внутреннем рынке; 2) дороговизну ИТ-решений и источников финансирования; 3) существенные трудозатраты по нормализации и подготовке данных; 4) готовность компаний к изменениям и 5) наличие внутренних компетенций



Цели исследования, проводимого Pieff и Геомикс

1. Определить **внутренние драйверы цифровизации** горнодобывающих компаний
2. Сформировать **ландшафт цифровых решений** и целевое видение ГОКа будущего
3. Выявить **повторяющиеся приоритетные инициативы**
4. Приоритизировать **доступные цифровые решения** для быстрого внедрения
5. Выявить **подходы к оценке** программ цифровизации
6. Верифицировать **перечень ключевых вызовов** и рисков

Охват полезных ископаемых в рамках исследования

Группа	Ресурсы	
Металлы	Золото	✓
	Платина	✓
	Медь	✓
	Железо	✓
	Никель	✓
Другие ресурсы	Другие металлы	✓
	Фосфаты	✓
	Уголь	✓

Ключевые направления цифровой трансформации

Переделы, охваченные в рамках исследования:

- Открытые горные работы
- Подземные горные работы (руда)
- Подземные горные работы (уголь)

Охват 9 ключевых направлений цифровизации:

1. Моделирование, управление, отчетность
2. Энергоэффективность
3. Мониторинг и продвинутая аналитика
4. Управление горной техникой
5. Пром. безопасность и охрана труда
6. Стратегия цифровизации
7. ИТ инфраструктура и кибербезопасность
8. Организационные вызовы

Решение прикладных задач



Pieff – консалтинговая компания с опытом внедрения операционных изменений

100+ проектов

> \$1 млрд – повышение EBITDA предприятий

> \$3 млрд – оптимизация капитальных затрат

- В апреле 2022 года партнёры московского офиса выкупили российскую часть международной консалтинговой компании **Partners in Performance (PiP)**
- Основная часть команды консультантов московского офиса **Partners in Performance** перешла в компанию «Пиэфф» (**Pieff**)
- «Пиэфф» сохранили доступ к интеллектуальной собственности Partners in Performance, накопленной в течение 25 лет в ходе реализации более 1500 проектов с ведущими предприятиями по всему миру

Мы помогаем клиентам добиваться результатов по 4-м направлениям

1 Оптимизация операционной деятельности	2 Повышение эффективности инвестпроектов	3 Стратегическое развитие и организационная трансформация	4 Цифровая трансформация
<ul style="list-style-type: none"> • Диагностика потенциала • Повышение объемов производства • Снижение потерь, оптимизация извлечения • Оптимизация ТОиР, внедрение системы надежности • Оптимизация производственного планирования 	<ul style="list-style-type: none"> • Оптимизация NPV проектов • Помощь в пересмотре проектных решений, разработка сценариев развития • Повышение эффективности строительно-монтажных работ • Повышение эффективности проектирования • Обеспечение операционной готовности 	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка функциональных стратегий и планов развития • Повышение орг. эффективности • Оптимизация закупочной деятельности • Повышение вовлеченности и усиление культуры производства • Обучение и развитие персонала 	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка дорожной карты цифровой трансформации • Поддержка внедрения цифровых решений • Организация проектного офиса и контроль достижения эффекта от цифровых технологий • Внедрение единых диспетчерских центров • Пилотирование цифровых решений

КОНФИДЕНЦИАЛЬНО – ООО «ПИЭФФ»

ГЕОМИКС – российская ИТ-компания
Интегрированные ИТ - решения

2021 г. образование ИТ-компания

> 30 лет опыта разработки ГГИС

100% Российская компания



входит в Госкорпорацию «Ростех» холдинг «РТ-Инжиниринг»



резиденты проекта ИЦ «Сколково»

Модули ГГИС ГЕОМИКС охватывают все этапы цикла геолого-маркшейдерских работ, а интеграция в единой информационной среде обеспечивает их эффективное взаимодействие

- **Маркшейдерия™** – пакет профессиональных алгоритмов маркшейдерии и геодезии
- **Геология™** – ИТ среда пространственного моделирования месторождений
- **Геоструктура™** – инструмент прогнозирования геомеханических рисков при строительстве карьера
- **Планирование™** – Рабочий стол горного инженера-планировщика
- **Развал™** – технология моделирования взрывного разрушения горных пород
- **БВР™** – ИТ технология обеспечения буровзрывного цикла горных работ

Наш подход к анализу уровня цифровизации включает как оценку самих цифровых решений, так и наличие «фундамента» в виде наличия стратегии цифровизации, готовности ИТ-инфраструктуры и готовности компании к изменениям



Направления	Анализируемые составляющие	
1. Решение прикладных задач	1.1. Моделирование, управление и отчетность	<ul style="list-style-type: none"> Инструменты моделирования и прогнозирования горных работ в разрезе основных функций: БВР, геология, проектирование Учет фактических результатов и перепланирование работ в реальном времени Визуализация функциональных КПЭ, автоматизация и формирование отчетности в зависимости от уровня принятия решения
	1.2. Энерго-эффективность	<ul style="list-style-type: none"> Используемые алгоритмы для повышения энергоэффективности потребителей электроэнергии Технологии, позволяющие сократить потребление топлива и электроэнергии Энергоэффективные технологии и оборудование
	1.3. Мониторинг и продвинутая аналитика	<ul style="list-style-type: none"> Автоматизация учета параметров и хранение Выявление зависимостей собираемых параметров и генерация оптимальных режимов Применение ИИ для определения зависимых и влияющих факторов
	1.4. Управление техникой	<ul style="list-style-type: none"> Оборудование датчиками для автоматического сбора информации о каждой единице оборудования, включая режимы работ, состояния узлов, характера управления машинистами и операторами для выработки предиктивных воздействий (ТОиР, работы с операторами, устранение неровностей дорог) Автономизация управления традиционной техникой и оборудованием (прим., автономные буровые, автономные автосамосвалы и т.п.) Применение новых разработок для замещения традиционных функций (прим., БПЛА для съемок)
	1.5. Безопасность и охрана труда	<ul style="list-style-type: none"> Внедрение систем видеонаблюдения и распознавания лиц для контроля соблюдения охраны труда и промышленной безопасности Наличие систем контроля предотвращения аварий техники и оборудования Системы обучения персонала безопасной работе в карьерах и шахтах с применением технологий виртуальной и дополненной реальности VR и AR
2. Стратегия цифровизации	<ul style="list-style-type: none"> Наличие программы цифровизации, частоты и уровня рассмотрения Принцип включения проектов в программу цифровизации: на основании расчетных эффектов, как проекты безопасности, по принципу «базовой гигиены»¹ Ориентированность программы на передовые технологические решения (прим. «автономный рудник») 	
3. ИТ инфраструктура	<ul style="list-style-type: none"> Обеспеченность данными, включая сбор и частоту сбора, хранение, качество данных Кибербезопасность 	
4. Организационные возможности	<ul style="list-style-type: none"> Компетенции внедрения цифровых решений на «стыке» функциональной области и применимости цифровых решений Готовность компании к внедрению цифровых решений, включая вовлеченность и открытость персонала к изменениям, формированию организационных и процессных изменений под целевые решения 	

Приоритетные направления внедрения цифровых инструментов зависят от способа добычи: при ОГР – логистика и контроль устойчивости карьера; подземная добыча руды – контроль качества руды и геомеханические риски; подземная добыча угля – газобезопасность и удаленное управление



Направления	Открытые горные работы ¹	Подземная добыча руды ¹	Подземная добыча угля ¹	
1. Решение прикладных задач	1.1. Моделирование, управление и отчетность	Оптимизация карьера / разреза и логистики <ul style="list-style-type: none"> Точное планирование горных работ Минимизация разубоживания Диспетчеризация автотранспорта для оптимизации маршрутов и загрузки 	Управление качеством руды и запасами: <ul style="list-style-type: none"> Актуализация 3D-блоковых моделей Минимизация разубоживания при поэтажном обрушении Контроль шихтования 	Дегазация: <ul style="list-style-type: none"> Моделирование газоносности пластов, планирование и контроль дегазации Контроль состояния лавы
	1.2. Энерго-эффективность	Снижение затрат на топливо <ul style="list-style-type: none"> Оптимизация маршрутов автосамосвалов Системы мониторинга и управления энергопотреблением в реальном времени 	Оптимизация работы вентиляции: Автоматическое регулирование расхода воздуха в зависимости от графика работ и загазованности	Интеллектуальная вентиляция: Динамическое регулирование подачи воздуха в активные выработки для утилизации метана при минимальном энергопотреблении
	1.3. Мониторинг и продвинутая аналитика	Стабильность уступов. Радарный и спутниковый (InSAR) мониторинг деформаций откосов для прогнозирования и предотвращения оползней	Геомеханический контроль: микросейсмический мониторинг для прогноза горных ударов; контроль устойчивости крупных камер и целиков	Контроль метана и кровли: прогнозная аналитика выбросов метана; мониторинг давления и целостности крепи
	ТОиР: Системы контроля состояния оборудования и критичных узлов и интеграция с планированием предиктивного обслуживания; Применение VR и AR технологий для обучения и удаленной экспертной поддержке специалистов ТОиР			
	1.4. Управление техникой	<ul style="list-style-type: none"> Автономные буровые, автосамосвалы БПЛА 	<ul style="list-style-type: none"> Автономные ШАС и ПДМ БПЛА для опасных и труднодоступных выработок 	<ul style="list-style-type: none"> Автономные лавные и проходческие комбайновые комплексы Автоматизированные конвейеры
	1.5. Безопасность и охрана труда	Предотвращение столкновений: системы на основе GPS и контроль слепых зон	Навигация и эвакуация: точное позиционирование людей и системы управления эвакуацией	Охрана труда и промышленная безопасность: <ul style="list-style-type: none"> Видео аналитика и распознавание лиц персонала для предотвращения опасных действий (прим., езда на конвейерах)
2. Стратегия цифровизации	<ul style="list-style-type: none"> Создание единой автоматизированной экосистемы "от взрыва до отгрузки", где вся техника и процессы связаны данными и работают с максимальной эффективностью 	<ul style="list-style-type: none"> Фокус на безопасности выполнения работ, выведению персонала из шахт, средне- и краткосрочном планировании 	<ul style="list-style-type: none"> Мероприятия превентивного характера, предотвращение аварий Эффект на втором месте 	
3. ИТ инфраструктура	<ul style="list-style-type: none"> Обеспечение связи, обработка большого объема данных ГИС, контроль параметров и управление техникой 	<ul style="list-style-type: none"> Обеспечение стабильной беспроводной связи в подземных выработках 	<ul style="list-style-type: none"> Требования к взрывозащищенности внедряемых ИТ-оборудований в шахтах 	
4. Организационные возможности	<ul style="list-style-type: none"> Готовность к внедрению новых доказанных решений 	<ul style="list-style-type: none"> Спротивление традиционного производства из-за необходимости повышения плановых показателей после реализации решений 		

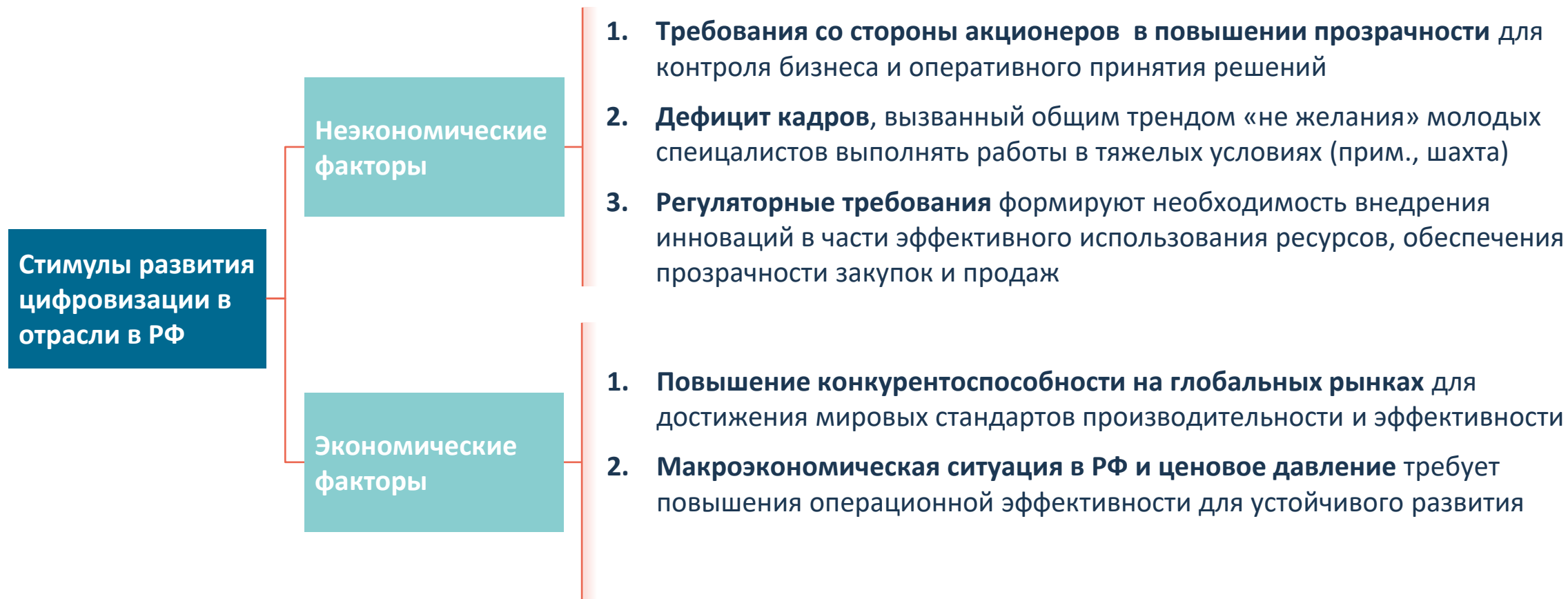
1. Указаны укрупненные направления цифровизации, более полный перечень приведен на последующих слайдах



1	Резюме: подход к исследованию, основные тенденции и предпосылки цифровизации	1
2	Внедренные цифровые технологии и достигнутые эффекты (ретроспективный взгляд)	8
3	Карта дальнейшей цифровой трансформации отрасли – кейсы и тренды	22
4	Рекомендации для дальнейшей «умной» цифровизации	37



Факторы, влияющие на необходимость внедрения цифровых инструментов



Опрошенные компании за 3 года реализовали базовый набор цифровых решений и фокусируются на устранении «пробелов» в ИТ. При этом уровень зрелости процессов различается между компаниями



Внедрение технологий цифровизации ведущими горно-металлургическими и угольными компаниями за 3 года

Направления	Реализованные «быстрые победы» цифровизации	Реализация цифровых технологий		
1. Решение прикладных задач	1.1. Моделирование, управление и отчетность	<ul style="list-style-type: none"> Внедрения ГГИС систем, создание регулярно актуализируемых 3D блочных моделей, цифровые паспорта БВР Интеграция долго- и среднесрочных планов 	<ul style="list-style-type: none"> Развитие цифровых двойников карьеров / разрезов и шахт Интеграция и оптимизация среднесрочного (месяц) и краткосрочного планирования (сутки-смена) 	
	1.2. Энергоэффективность	<ul style="list-style-type: none"> Экономия топлива за счет оптимизации маршрутов и контроля движения техники через диспетчерские и ПО 	<ul style="list-style-type: none"> Продвинутое алгоритмические решения экономии затрат на электроэнергию – управление энергопотреблением Гибридные двигатели и аккумуляторная техника 	
	1.3. Мониторинг и продвинутая аналитика	<ul style="list-style-type: none"> Контроль состояния оборудования с использованием датчиков, камер фиксации режимов работы 	<ul style="list-style-type: none"> Центр удаленного управления процессами ГОКа Цифровые подсказчики для персонала ГОКа AR/VR для обучения/помощи в ТОиР техники Элементы предиктивного ТОиР на основании учета состояния техники и статистики отказов 	
	1.4. Управление техникой	<ul style="list-style-type: none"> Автоматическое управление, конвейерами и железнодорожными транспортировками Диспетчеризация техники с помощью операторов 	<ul style="list-style-type: none"> Дистанционное бурение Динамическая диспетчеризация с минимизацией вовлечения операторов 	
	1.5. Безопасность и охрана труда	<ul style="list-style-type: none"> Системы предотвращения аварий при движении техники Мониторинг загазованности подземных выработок 	<ul style="list-style-type: none"> Мониторинг микроклимата VR/AR обучение действий в аварийных ситуациях Видео аналитика и распознавание лиц персонала для предотвращения опасных действий (прим., езда на конвейерах) 	
2. Стратегия цифровизации	<ul style="list-style-type: none"> Прикладные задачи приоритизированы и сформированы в программу 	<ul style="list-style-type: none"> Оптимизация последовательности внедрения исходя из задач и эффектов 		
3. ИТ инфраструктура	<ul style="list-style-type: none"> Сформированы требования к данным; системы учета, хранения и анализа данных 	<ul style="list-style-type: none"> Стабильный интернет, облачные удаленные серверы, система кибербезопасности 		
4. Организационные возможности	<ul style="list-style-type: none"> Развитые компетенции проектного управления для быстрого внедрения задач 	<ul style="list-style-type: none"> Сильные компетенции управления изменениями, параллельное внедрение программы задач 		

Доля опрошенных респондентов реализовавших элементы цифровизации

Открытые горные работы: основной фокус внедрения цифровых инструментов на обеспечении устойчивости бортов карьеров, повышении эффективности БВР и внедрении беспилотной техники



Открытые горные работы

Приоритетные цифровые технологии внедряемые в открытых горных работах (согласно результатам исследования)

3D геологические и блоковые модели месторождений с динамическим обновлением	Программные комплексы для сценарного анализа (GEOVIA, Deswik и др.)	Системы геотехнического мониторинга	Контроль расхода топлива, системы экономичного вождения	Системы предотвращения столкновений и «умные» зоны безопасности
Системы оптимизации границ карьера/разреза и последовательности отработки	Оптимизаторы планирования горных работ (год/месяц/смена)	Мониторинг устойчивости уступов и откосов с помощью радаров и спутниковой геодезии (InSAR)	Системы предиктивного ТО оборудования (AI/ML)	Системы мониторинга пылевывосов и качества воздуха
Цифровые двойники карьера / разреза	Системы рекуперации энергии на карьерных самосвалах	Системы контроля нагрузки на шины и расхода топлива самосвалов	Георадары и дистанционное зондирование	Системы контроля усталости машинистов и операторов
Дроны для аэросъёмки, построения цифровых карт, подсчета запасов, объемов и контроля качества	ИИ оптимизация графиков работы энергоёмких процессов (дробилки, насосы, конвейеры) с учётом «льготных» тарифов	Датчики износа ковшей экскаваторов и зубьев	Автономные карьерные автосамосвалы	Цифровые разрешения на работу (электронный журнал с контролем на дэшборде онлайн)
Лазерное сканирование для высокоточного измерения объемов взорванной горной массы	Гибридные/электрические автосамосвалы	Системы взвешивания и отслеживания руды/угля в реальном времени от забоя до склада	Автоматизированные буровые установки с GPS/лазерным наведением	Умные СИЗ с биометрическими датчиками (температура, пульс и др)
AR/VR-инструменты для обучения и удалённой поддержки	Интеллектуальные системы диспетчеризации автосамосвалов	Рентгенорадиометрические сепараторы на конвейерах	Автономные бульдозеры и грейдеры для планировки дорог и уборки развалов	AR/VR тренажеры для обучения действиям в чрезвычайных ситуациях
Системы управления шихтованием и контроля качества руды	Дистанционные системы контроля вибрации, давления, сеймики	Цифровые паспорта бурения скважин	Автоматическое управление водоотливом	ИИ-решения для предиктивного анализа травматизма и предотвращения инцидентов
Автоматизированные системы управления конвейерными линиями (скорость, загрузка и др.)	Системы оптимизации схем бурения и взрывов (снижение перерасхода БВ)	Контроль загрузки ковша и баланса фронта в реальном времени	Системы позиционирования в реальном времени	Инфраструктурная кибербезопасность в масштабе предприятия

■ Моделирование, управление и отчетность

■ Энергоэффективность

■ Безопасность и охрана труда

■ Мониторинг и продвинутая аналитика

■ Управление техникой

Подземная добыча руды: основной фокус внедряемых цифровых инструментов на геомеханике, повышению учета и качества руды, беспилотной технике



Руда: подземная добыча

Приоритетные цифровые технологии внедряемые в подземной добыче руды (согласно результатам исследования)

3D геологические и блоковые модели с динамическим обновлением	Интеллектуальные системы диспетчеризации подземного транспорта	Датчики нагрузки на ковш ПДМ	Автономные ШАС и ПДМ	Сети датчиков IoT: деформация, давление, вибрация
Планирование и оптимизации системы подземной разработки	ПО для оптимизации управления вентиляционными установками	Машинное обучение в части обработки геологических данных	Дистанционно управляемые и автономные буровые установки	Системы контроля запыленности и мониторинга выхлопов дизельной техники
Цифровые двойники шахты	Системы рекуперации энергии на поездах, ШАС, подъемных установках	Предиктивный мониторинг состояния конвейерных лент (сканеры разрывов троса, повреждений)	Роботизированные системы анкерного крепления	Системы видео мониторинга и распознавания лиц (прим., контроль перемещения персонала на конвейерах)
Интеграция долго- и среднесрочного планирования со сменно-суточным	Автономные системы энергоснабжения для ключевой инфраструктуры	Системы мониторинга и управления подземным водоотливом	Автоматизированные дробильные комплексы под землей	Системы позиционирования персонала и техники в реальном времени (UWB, LPWAN)
Системы управления проектами строительства и реконструкции выработок	Энергоэффективное освещение с датчиками движения	Системы геотехнического мониторинга и ИИ-подсказчик прогноза геотехнических изменений	Защищенные дроны для подземных съемок, с технологией LIDAR	Умные СИЗ с биометрическими датчиками (температура, пульс и др.)
Системы управления шихтованием и контроля качества руды	Оптимизация планирования энергоемких процессов на период льготных тарифов на Э/Э	Интегрированная система предиктивного планирования ТО и обслуживания	Роботизированные инспекционные платформы для осмотра конвейеров, вент. стволов и др	AR/VR тренажеры для обучения действиям в чрезвычайных ситуациях
Автоматизированные системы управления конвейерными линиями (скорость, загрузка и др.)	Системы взвешивания в реальном времени	Инфраструктура высокоскоростной подземная сеть связи (5G/LTE-M, Wi-Fi 6 Mesh)	Системы микросейсмического мониторинга	ИИ-решения для предиктивного анализа травматизма и предотвращения инцидентов
Системы управления запасами материалов и складом (ВВ, ГСМ, крепи, комплектующие)	Тепловизоры для предиктивного обслуживания (подшипники конвейеров, двигатели ПДМ)	Системы позиционирования в реальном времени	Георадары и системы предиктивного прогноза обрушений	Инфраструктурная кибербезопасность в масштабе предприятия

Моделирование, управление и отчетность
 Энергоэффективность

Мониторинг и продвинутая аналитика

Управление техникой

Безопасность и охрана труда

Подземная добыча угля: основной фокус внедряемых цифровых инструментов на обеспечении газовой безопасности в шахте и внедрении беспилотной техники



Уголь: подземная добыча

Приоритетные цифровые технологии внедряемые в подземной добыче угля (согласно результатам исследования)

Горно-геологические информ. системы для планирования горных работ, запасов и др.	Цифровые модели и системы планирования дегазации пластов	Тепловизоры для мониторинга перегрева конвейерных роликов, двигателей	Беспилотные лавные комбайны	Системы автоматического пылеподавления
Цифровые двойники угольных пластов	Умные системы вентиляции с динамическим регулированием	Автоматизированные конвейерные линии с системами диагностики	Дистанционно управляемые проходческие комбайны	Системы позиционирования, обнаружения и оповещения сотрудников
Системы управления запасами материалов и складом (крепь, балки, вент. рукава, комплектующие)	Системы мониторинга энергопотребления в реальном времени (в разрезе объектов)	Системы мониторинга состояния рельсовых путей для электровозов	Роботизированные комплексы крепления лавы / проходческих выработок	Умные СИЗ с биометрическими датчиками (температура, пульс и др.)
Системы управления проходкой, перемонтажа и реконструкции выработок	Системы рекуперации энергии на ДЛТ, комбайнах, подъемных установках	Нейросетевые алгоритмы для прогноза сейсмической активности	БПЛА для контроля опасных (газ, обрушение) выработок	Автоматизированные системы локализации аварий
Цифровые оптимизаторы планирования горных работ (от года до смены)	Шахтное оборудование на аккумуляторах	Интегрированная система предиктивного планирования ТО и обслуживания	Умные системы вентиляции с динамической регулировкой	Цифровые разрешения на работу (электронный журнал с контролем на дашборде онлайн)
AR/VR-инструменты для обучения и удаленной поддержки	Энергоэффективное освещение с датчиками движения	Инфраструктура бесперебойной подземной связи (внутренние сети 5G, Wi-Fi 6E)	Системы предотвращения столкновений (радары, ультразвуковые датчики, RFID и др)	AR/VR тренажеры для обучения действиям в чрезвычайных ситуациях
Системы контроля качества угля в реальном времени (спектрометрический анализ на конвейере)	Оптимизация планирования энергоемких процессов на период льготных тарифов на Э/Э	Системы позиционирования в реальном времени	Распределенные системы газового мониторинга с предиктивной аналитикой	ИИ-решения для предиктивного анализа травматизма и предотвращения инцидентов
Автоматизированные системы управления конвейерными линиями (скорость, загрузка и др.)	Сети датчиков IoT: деформация, давление, шум, вибрация, загазованность и др	Цифровые карты для автономной навигации	Системы контроля устойчивости кровли, давления и целостности крепи	Инфраструктурная кибербезопасность в масштабе предприятия

Моделирование, управление и отчетность
 Энергоэффективность

Мониторинг и продвинутая аналитика

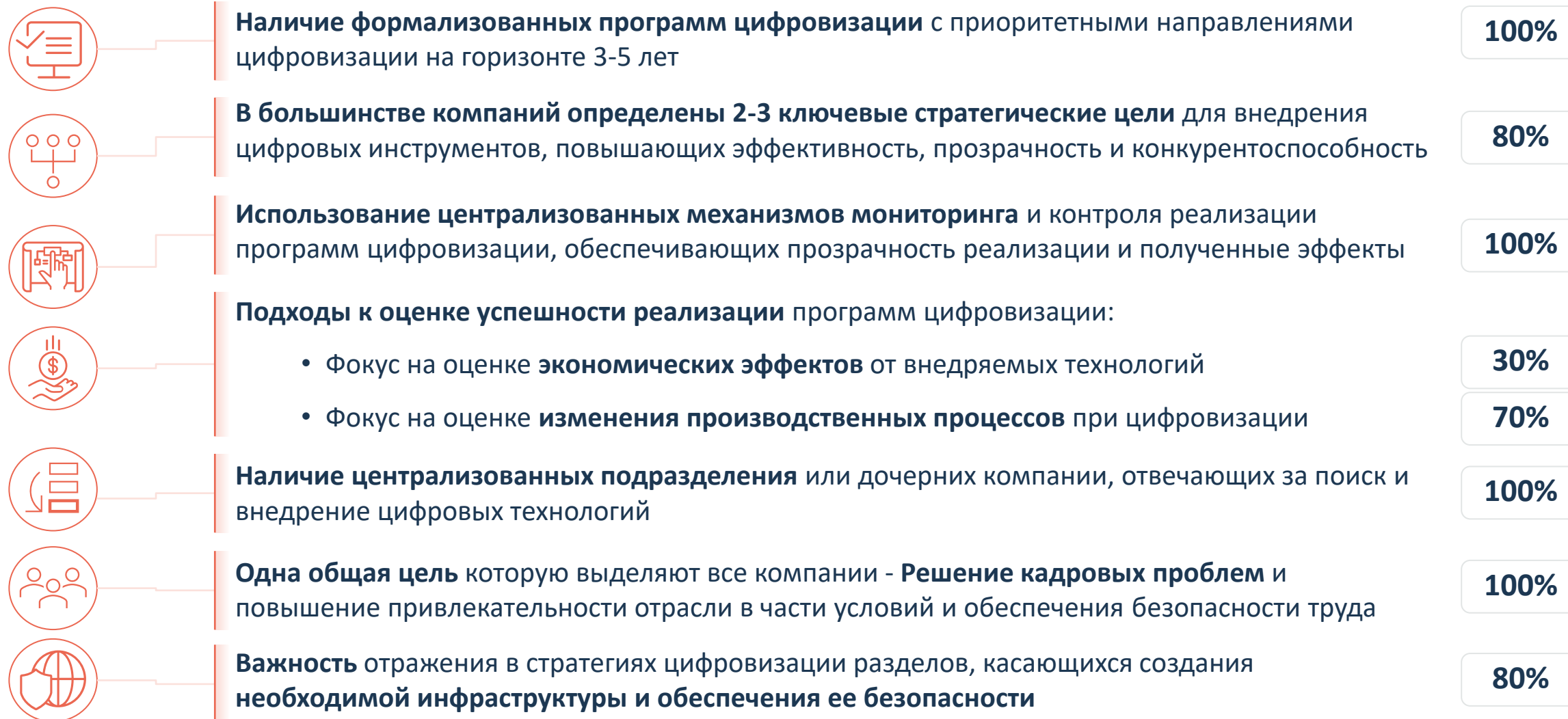
Управление техникой

Безопасность и охрана труда



Основные подходы опрошенных компаний в части стратегий цифровизации

xx% Доля опрошенных респондентов с положительными ответам





Подходы компаний к выбору проектов цифровизации при включении в портфель для реализации



Без оценки эффекта: имиджевые и «гигиенические» проекты

- Используется в компаниях, где управление программами цифровизации происходит в «ручном» режиме, и **портфель проектов существенно ограничен** по объему
- Также применяется в случаях, когда детальная оценка эффекта невозможна из-за ранней стадии развития технологии



Проекты с целевым экономическим эффектом

Используются различные **подходы к оценке эффекта**:

- Эффект в абсолютном значении (млн руб.)
- Применение целевых сроков окупаемости внедряемой технологии (например, окупится за 6 месяцев)
- Целевой эффект на EBITDA от реализации стратегии

По результатам опроса, компании разделены на две группы, в зависимости от масштаба эффекта

1



Значительный эффект: достигает % от EBITDA

Наблюдается в компаниях, обладающих высоким уровнем **зрелости системы управления** цифровыми проектами

Проекты цифровизации сгруппированы в портфели программ, каждый проект имеет оценку эффективности, **каждый портфель оценивается по эффекту на EBITDA**

2



Ограниченный эффект: измеряется сотнями миллионов рублей

Наблюдается в компаниях, где управление программами цифровизации **происходит в «ручном» режиме**, при этом портфель проектов значителен по объему, и производится **приоритизация наиболее масштабных** и эффективных проектов

Открытые горные работы: исследование опыта более широкого периметра компаний, показывает эффективность внедрения цифровых инструментов за счет улучшения основных КПЭ процессов



Открытые горные работы

Процессы	КПЭ эффективности процессов	Влияние внедрения цифровых инструментов ¹	
		До цифровизации	С цифровизацией
Геологоразведка	Точность разведки и моделирования	15-25%	5-10%
	Скорость геологоразведочных работ	12-18 мес.	6-9 мес.
	Потери и разубоживание руды	5-10%	2-5%
	Стоимость	-	Снижение на 10-20%
БВР	Скорость бурения (разметка, бурение)	-	В 2-2,5 раза
	Расход взрывчатых веществ	-	Снижение на 10-20%
	Качество взрыва (пример, фрагментация)	+/- 30% от плана	+/- 10% от плана
Горные работы (добыча и транспортировка)	Простои техники	20-25%	5-10%
	Расход ГСМ	+5-8% от нормы	-3-5% от нормы
	Потери руды при экскавации (селективность)	10-15%	5-8%
	Безопасность, инциденты/год	8-10	2-3
Маркшейдерское сопровождение	Точность съемки	15-20 см	2-5 см
	Скорость съемки	1 Га / 4 часа	1 Га / 30 минут
	Частота обновления данных	2-4 недели	1-2 дня
	Ошибки в объемах	5-10%	Менее 2%

Подземная добыча руды: исследование опыта более широкого периметра компаний, показывает эффективность внедрения цифровых инструментов за счет улучшения основных КПЭ процессов



Подземная добыча руды

Процессы	КПЭ эффективности процессов	Влияние внедрения цифровых инструментов ¹	
		До цифровизации	После цифровизации
Геологоразведка	Точность моделирования	15-20%	5-10% (3D-модели, ИИ)
	Построение геомодели	месяцы	В реальном времени
	Потери из-за неточной разведки	10-25%	5-10%
БВР	Скорость бурения	-	в 2,5-3 раза
	Точность бурения	10-20 см	2-5 см (автобуровые)
	Расход взрывчатых веществ	Перерасход до 10-15%	Снижение на 7-10%
Горные работы (добыча и транспортировка)	Простои техники	20-30%	5-10%
	Расход ГСМ	+5-8% от нормы	-10-12% от нормы
	Безопасность, инциденты/год	12-15	4-5
Маркшейдерское сопровождение	Точность съемки	10-15 см	+/- 1-3 см
	Частота обновления данных	1-2 недели	1-2 дня
	Ошибки в разметке выработок	5-8%	Менее 2%

Подземная добыча угля: исследование опыта более широкого периметра компаний, показывает эффективность внедрения цифровых инструментов за счет улучшения основных КПЭ процессов



Подземная добыча угля

Процессы	КПЭ эффективности процессов	Влияние внедрения цифровых инструментов ¹	
		До цифровизации	С цифровизацией
Геологоразведка	Точность разведки и моделирования	-±10–15%	±3–5%
	Погрешность прогноза мощности пласта	Базовый уровень	Ниже на 40-60%
	Стоимость разведки на 1 тонну запасов	Базовый уровень	Ниже на 20-30%
Горнопроходческие работы	Скорость проходки	Базовый уровень	Выше на 40-50%
	Полезное время рубки (очистки)	35–45%	50–65%
	Неплановые простои	90–150 мин./смена	40–90 мин./смена
	Время устранения отказа (MTTR)	4–8 ч.	1–3 ч.
Добычные работы (очистная выемка)	Темп подвигания лавы	Базовый уровень	Выше на 30-50%
	Доступность комплекса (КТГ)	Базовый уровень	Выше на 15-20%
	Общая эффективность лавного комплекса (ОЕЕ)	Базовый уровень	Выше на 20-35%
	Газ/пыль превышения	Базовый уровень	Ниже на 30–50%
Дегазация	Дебит метана на скважину, м ³ /мин	Базовый уровень	Выше на 50-60%
	Незапланированные остановки из-за метана	4–10 шт./мес.	1–3 шт./мес.
	Коэффициент утилизации метана	Базовый уровень	Выше в 2-2,5 раза



	Основная проблематика	Цитаты по проблематике
1 Рыночное предложение ИТ-решений	<ul style="list-style-type: none">Отсутствие «готовых» решений на внутреннем рынкеНедостаточный уровень сервиса вендоров - нет культуры поддержки, ограниченные ресурсы команд внедрения	<ul style="list-style-type: none">«На отечественном рынке отсутствуют готовые решения – все что есть очень сырое»«Мы пытаемся находить обходные пути для использования зарубежных программных продуктов»
2 Экономические факторы	<ul style="list-style-type: none">Повышение процентных ставок, привело к повышению порога окупаемости проектовСтоимость отечественных решений иногда выше, чем зарубежных аналогов	<ul style="list-style-type: none">«После ухода международных вендоров, стоимость отечественных разработок оказалась существенно дороже по аналогичным продуктам»
3 Данные и инфраструктура	<ul style="list-style-type: none">Приоритет нормализации данных и выстраивания инфраструктуры для работы цифровых решений	<ul style="list-style-type: none">«Первоочередная цель подготовить данные и решить инфраструктурные проблемы - без инфраструктуры хоть зацифровизируйся ничего не полетит»
4 Готовность к изменениям	<ul style="list-style-type: none">Непрозрачность процесса принятия решений по внедрению измененийСопrotивление со стороны производства внедрению изменений и повышению КПЭ	<ul style="list-style-type: none">«Низкая мотивация – зачем что-то менять»«Производство если согласуют эффект улучшения, то им поднимут план, а этого они не хотят»
5 Компетенции заказчиков	<ul style="list-style-type: none">Отсутствие синергии производственного опыта и понимания цифровых решенийОтсутствие понимания и опыта проектного управления	<ul style="list-style-type: none">«.Внедряют люди которые не понимают, что внедряют»

Чтобы успешно внедрять цифровые инициативы, нужно создать естественный спрос на более качественные и объемные данные — это в корне изменит подход к управлению производством. При этом используемая стратегия будет зависеть от зрелости ИТ-системы и наличия данных



Стадии развития для “развивающихся” ИТ-систем

	Визуализация мастер-данных позволит перейти к управлению процессом. Даже неполные и несвязанные данные на этом этапе уже позволяют принимать более обоснованные решения
	Запуск системы краткосрочного контроля требует больше данных и более высокого их качества. Это позволяет перейти к этапу схематической проработки детального алгоритма контроля над процессом
	Улучшение качества данных , новые точки измерений, СОП (стандартные операционные процедуры) для работы операторов (на бумажной основе или в Excel) с указанными точками контроля и диапазонами управления процессом
	Электронный помощник (SCADA), системы регулярного мониторинга тех. процесса, процедуры пересчета коэффициентов и алгоритмов, актуализация рабочих инструкций (СОП) для оперативного персонала
	Внедрение систем автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП), предусматривающих ручные операции для корректировки, пересчета коэффициентов и калибровки
	Внедрение машинного обучения и искусственного интеллекта

Стадии развития для “зрелых” ИТ-систем

	Диагностика текущего состояния системы сбора данных и существующей ИТ-архитектуры определит направления для улучшений и потенциальный эффект от внедрения Пилотного проекта
	Потребность в данных определена; данные очищены, подготовлены и преобразованы для использования в первоначальной предиктивной модели.
	Разработана первая аналитическая модель : исходные гипотезы и сценарии проверены с линейными менеджерами и экспертами (SME)
	На основе результатов первоначальной сходимости модели определяют недостающие точки сбора данных, требования к их точности, частоте и т.д
	Разработка плана установки дополнительных датчиков и их интеграции в существующее хранилище «озеро данных» для повышения точности модели и её использования в прескриптивной аналитике



Контекст

Ситуация сейчас

- **Инфраструктура под риском**
 - Каналы связи (Wi-Fi, 4G, Ethernet)
 - Датчики и сенсоры
 - Производственное оборудование (экскаваторы, самосвалы, ШАС и пр.)
 - Промышленные дроны
 - АСУТП и SCADA-системы
 - Системы диспетчеризации
 - Корпоративные облачные сервисы для хранения данных
- **Данные/инфраструктура под риском (неполный перечень)**
 - Геологическая и разведочная информация
 - Проектная документация и планы горных работ
 - Операционные и технологические данные
 - Видео и аудио с камер наблюдения
 - Операционные журналы и отчёты
 - Персональные и финансовые данные

•-----> Ситуация в перспективе

- **Предпосылки**
 - Развитие дистанционно-управляемого оборудования
 - Развитие автономного оборудования: автосамосвалы, буровые установки, погрузчики, дроны
 - Развитие технологий машинного обучения
- **Примеры инцидентов в условиях автономизации**
 - Приложения управления техникой (изменения маршрута)
 - Системы предотвращения столкновений и безопасности (отключение датчиков приближения, например Hexagon CAS)
 - ИИ-модули принятия решений (нарушение логики распределения задач)
 - Каналы связи между техникой и центром (потеря соединения в критичный момент, перехват управляющих команд)
 - Интерфейсы удалённого контроля (блокировка доступа для операторов)

Риски «утечки данных»

- ① Утечка производственных данных
- ② Остановка производственных процессов
- ③ Риск для безопасности и жизни персонала
- ④ Поломка оборудования



Эволюция процессов цифровизации ГОК

Традиционные процессы до цифровизации

- Ручной сбор и ввод данных (сменные журналы, бумажные отчеты)
- Ограниченная связь между производственными подразделениями (рудник, обогатительная фабрика, логистика)
- Реактивное решение проблем – по факту
- Разрозненные данные - отсутствие единого источника правды

Трансформация перед внедрением цифровых решений

- Стандартизация процессов – определение «как должно быть»
- Описание ключевых производственных и логистических цепочек и связей между ними
- Выявление «узких мест» процессов и применимость цифровых решений для их «расшивки»
- Подготовка (нормализация) данных и инфраструктуры (датчики, сети, системы учета)
- Вовлечение сотрудников: обучение, адаптация мышления к целевым процессам

Готовность к внедрению цифровых решений

- Систематизация сбора данных (датчики, SCADA, MES), централизация аналитики и мониторинга
- Формирование стратегии / программы проектов цифровизации и автоматизации
- Формирование проектных кросс-функциональных команд
- Переход к целевым процессам «как должно быть»
- Внедрение КПЭ и цифровых штабов контроля реализации внедрения решений
- Контроль изменения процессных КПЭ по ходу реализации цифровых решений



1	Резюме: подход к исследованию, основные тенденции и предпосылки цифровизации	1
2	Внедренные цифровые технологии и достигнутые эффекты (ретроспективный взгляд)	8
3	Карта дальнейшей цифровой трансформации отрасли – кейсы и тренды	22
4	Рекомендации для дальнейшей «умной» цифровизации	37





От ГОКа «сегодня» с лоскутной цифровизацией и значительным управлением «в ручном режиме» ...



Выдержанность рудных тел и содержаний сильно влияет на равномерность и управляемость производительностью



Низкая согласованность между горными работами и обогатительными фабриками



Недостаточная прозрачность и своевременность сбора данных и показателей работы рудника



«Реактивный» характер ремонта: высокая доля времени внеплановых остановок



Высокая составляющая **операций требующая вовлечение человеческого труда**, в т.ч. в зонах повышенной опасности

...Переход к ГОКу со сквозной цифровизацией и минимальным вовлечением человеческих ресурсов



Модели учета ГИС данных и оптимизационного планирования для оптимизации производительности



Эффективное управление и совершенствование процессов, обеспечиваемые **Цифровой операционной системой, цифровыми дэшбордами и инструментами визуального управления** для краткосрочного операционного контроля



Сбор данных датчиками и мобильными устройствами через **сеть 5G** в рабочих зонах



Оснащение техники датчиками для сбора данных в реальном времени и формирование плана предиктивного обслуживания



Внедрение автономных технологий, в том числе беспилотного оборудования (БПЛА, буровые, самосвалы и т.п.)



Повышение автоматизации и создание **центров удаленного управления**



Реорганизованные процессы, управляемые высококвалифицированным персоналом

Целевое видение Pieff рудника будущего в составе единой информационной системы, обеспечивающей безопасную добычу при минимальном вовлечении человека (1/2)



Планирование и контроль

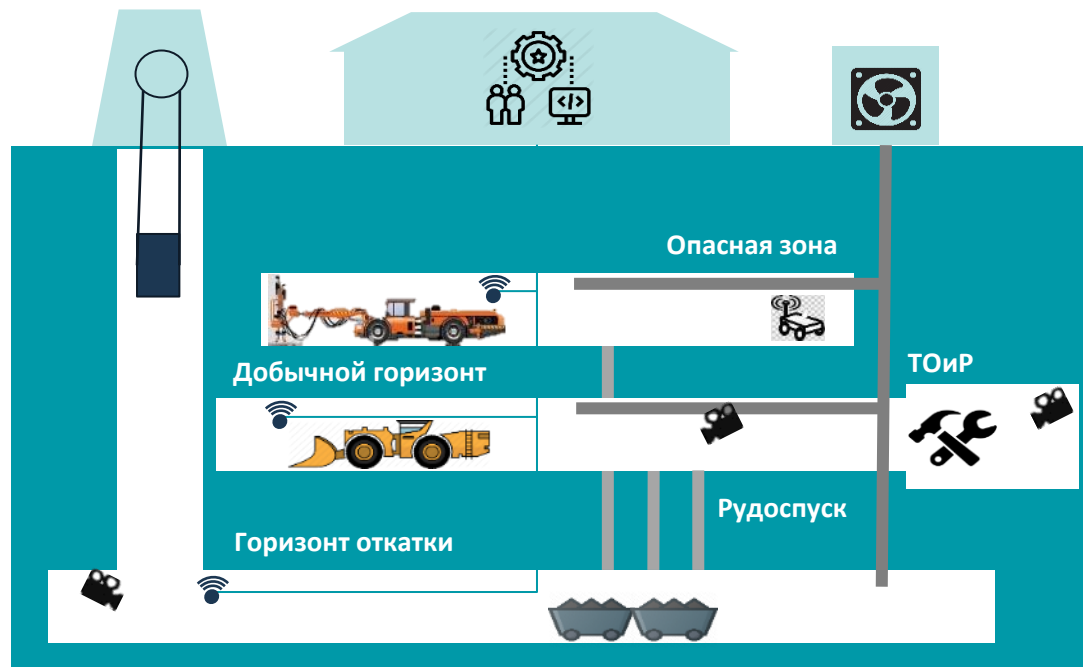
- План отработки формируется на основании 3D блочной модели и результатов локальной разведки
- Автоматическое составление планов и выдача электронных наряд-заданий
- Корректировка сменного задания в зависимости от условий
- Постоянная связь центральной диспетчерской с исполнителем

Автоматизация

- Автоматизация процесса бурения
- Паспорт крепления рассчитывается автоматически, и передается на бортовой компьютер буровой

Сотрудники и компетенции

- Минимальное присутствие человека в забое
- Операторы проходят обучение-симуляцию на тренажерах с виртуальной реальностью



Управление рудопотоками

- Планирование отгрузки происходит от доступных объемов руды и содержания металлов
- Система датчиков взвешивания руды в самоходной технике
- Шихтование на горизонте откатки исходя из текущего наличия руды в рудопусках

ТОиР

- Предиктивная диагностика на основании датчиков и цифровой дефектной ведомости
- Электронный учет причин простоев
- Электронные наряды на техническое обслуживание

ОТиПБ

- Система позиционирования и предотвращения столкновений
- Система мобильных и стационарных газоанализаторов
- Беспилотная техника на опасных участках
- Датчики сканирования состояния кровли в выработках на технике
- Камеры в шахте и на технике с помощью искусственного интеллекта контролируют исполнение правил безопасности

Инфраструктура

- Автоматическое перераспределение потоков воздуха в зависимости от распределения техники по руднику
- Освещение и водоотлив управляются по потребности

Целевое видение Pieff карьера/разреза будущего в составе единой информационной системы, обеспечивающей безопасную добычу при минимальном вовлечении человека (2/2)



Планирование и контроль

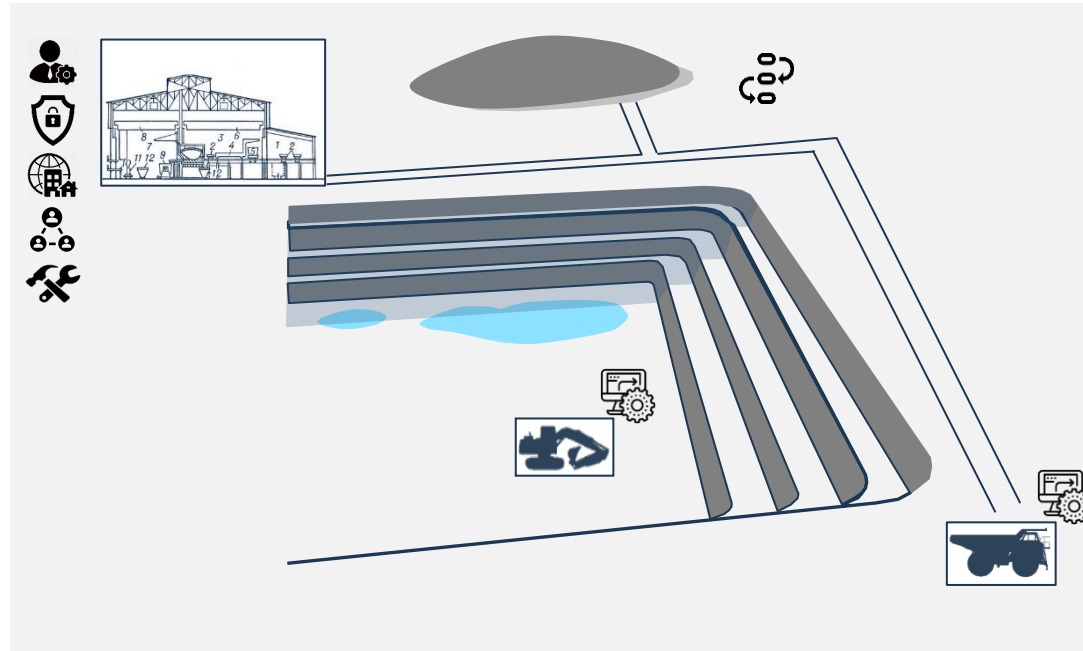
- План отработки формируется на основании 3D блочной модели и результатов локальной разведки
- Автоматическое составление планов и электронная выдача наряд-заданий
- Автоматическое перераспределение техники внутри смены

Автоматизация

- Беспилотный транспорт / ассистенты для отдельных операций
- Автоматизация управления буровыми работами
- Автоматизация управления дробильно-сортировочным комплексом

Сотрудники и компетенции

- Минимальное присутствие человека в карьере
- Операторы проходят обучение-симуляцию на тренажерах с виртуальной реальностью



Управление рудопотоками

- Планирование отгрузки происходит от доступных объемов руды и содержания металлов
- Система датчиков взвешивания руды в самоходной технике
- Шихтование на складе руды с учетом плановых содержаний

ТОиР

- Предиктивная диагностика на основании датчиков и цифровой дефектной ведомости
- Электронный учет причин простоев
- Электронные наряды на техническое обслуживание техники и оборудования карьера

ОТиПБ

- Система позиционирования и предотвращения столкновений самосвалов и вспомогательной техники
- Система контроля устойчивости бортов карьера
- Системы контроля усталости персонала
- Удаленное управление карьерной техникой
- Системы контроля давления и температуры в шинах

Вспомогательные процессы

- Управление водоотливом
- Аэрофотосъемка с использованием БПЛА
- Оптимальное планирование дозаправок и подкачек колес внутри смены



Управление цифровыми активами

- Единый сервер для хранения и обработки информации
- Интеграция всех систем в единое пространство данных
- Автоматическая система составления отчетности
- Центральные диспетчерские с online обработкой данных
- Дэшборды BI, корпоративные порталы
- Оснащение персонала планшетами и бортовыми компьютерами для обмена данными
- Автоматизированные системы по управлению технологическими процессами
- Беспроводные точки доступа на рабочих местах
- Электронный документооборот



Сотрудники и компетенции

- Минимизация присутствия персонала на производстве

- Электронный контроль знаний с допуском к рабочим местам
- Виртуальные тренажеры для подготовки специалистов



ТОиР

- Прогнозирование поломок
- Превентивная диагностика
 - Виброакустический анализ
 - Анализ масла

- Формирование плана ремонтов по состоянию узлов
- Цифровые наряды с отображением на планшетах
- 3D печать запчастей



ОТиПБ

- Электронная проходная с алкотестерами
- Обучение с применением виртуальной реальности
- Датчики состояния здоровья
- Сенсоры поведения сотрудников



Инфраструктура

- Энергоменеджмент
- Smart технологии в зданиях
- Адаптивное использование энергоресурсов по потребности
- Автоматический сбор экологических параметров



Снабжение

- Аналитика и прогноз использования ТМЦ
- Автоматическая закупка запчастей/расходных материалов и поддержание минимального запаса остатков на складах

С точки зрения достижения перехода к автономному ГОКу некоторые респонденты начали реализовывать инструменты автоматизации буровых, готовить ИТ-инфраструктуры и реализовывать организационные изменения



Перспективные направления цифровизации ведущих горно-металлургических и угольных компаний до 2030 года и далее

Направления	Продвинутая цифровизация	2030	Автономный ГОК	2040	
1. Решение прикладных задач	1.1. Моделирование, управление и отчетность	<ul style="list-style-type: none"> Интегрированная оптимизация краткосрочного планирования и продаж Интеграция краткосрочного планирования и состояния оборудования 	●	<ul style="list-style-type: none"> Циклы оптимизации процессов на основе ИИ 	◐
	1.2. Энергоэффективность	<ul style="list-style-type: none"> Энергоэффективные технологии, моделирование потребления 	◐	Использование интеллектуальных энергетических систем (накопители, ВИЭ)	
	1.3. Мониторинг и продвинутая аналитика	<ul style="list-style-type: none"> Центр интегрированного мониторинга и удаленного управления несколькими площадками 	◐		
	1.4. Управление техникой	<ul style="list-style-type: none"> Автоматизированное бурение, БПЛА для рудников, автономная техника с геопозиционированием Интегрированное предиктивное обслуживание; цифровая инспекция оборудования 	◐	<ul style="list-style-type: none"> Самовосстанавливающееся оборудование и техника Беспилотная техника в шахтах и карьерах /разрезах 	◐
	1.5. Безопасность и охрана труда	<ul style="list-style-type: none"> AR/VR² для обучения и удаленной поддержки 	◐		
2. Стратегия цифровизации	<ul style="list-style-type: none"> Расширение программы за счет новых бизнес-моделей, опер.моделей и цифр. решений 	●			
3. ИТ инфраструктура	<ul style="list-style-type: none"> Единое хранилище/склад данных, с процессом ETL³ 	◐	<ul style="list-style-type: none"> Блокчейн жизненного цикла активов, продукции, токенизации месторождений 	○	
4. Организационные возможности	<ul style="list-style-type: none"> Компетенции в «дизайн-мышлении» для создания инновационных решений не имеющих аналогов на рынке 	◐			



В качестве приоритетных перспективных инструментов респонденты отметили внедрение беспилотных технологий, динамическую диспетчеризацию, цифровизацию БВР, «компьютерное зрение», машинное обучение и технологии интернета вещей



Базовые универсальные технологии

Компьютерное зрение

- Мониторинг соблюдения техники безопасности
- Анализ гранулярного состава руды
- Системы предотвращения столкновений
- Мониторинг геологических изменений



Машинное обучение (AI)

- Обработка геологических данных
- Подсказки управления тех. режимом
- Управление диспетчеризацией техники
- Формирование документов и автоматизация офисных функций



Устройства интернета вещей (IoT)

- Мониторинг состояния техники онлайн
- Оперативная настройка оборудования исходя из изменяемых параметров
- Настройка сценариев автономного взаимодействия оборудования



Специализированные комплексные технологические решения

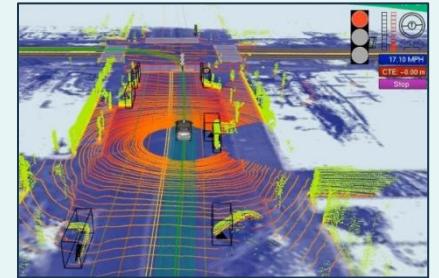
Беспилотные технологии

- Беспилотные автосамосвалы и вспомогательная техника
- Дистанционно-управляемые экскаваторы и карьерная техника
- Дроны для маркшейдерии и мониторинга



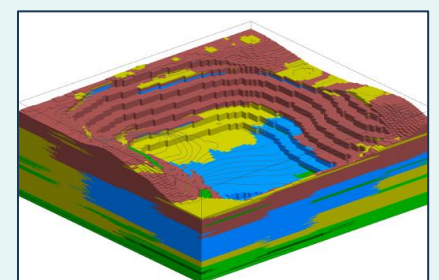
Динамическая диспетчеризация

- Автоматизированное распределение самосвалов и экскаваторов исходя из состояния парка, требований фабрики и плана горных работ
- Управление шихтованием за счет распределения техники между забоями



Цифровизация БВР

- Цифровые паспорта и оптимизационные алгоритмы параметров БВР
- Автоматический пробоотбор с буровых станков и динамическая корректировка сортовых планов на базе СЭР¹
- Моделирование смещения горной массы



Примечание: 1.СЭР – сопутствующая эксплуатационная разведка



Применение беспилотных автосамосвалов



Автоколонна карьерных самосвалов Huaneng, Монголия Фото: www.sprag.com

- Опытные беспилотные самосвалы **появились более 30 лет назад**
- **В мире** некоторые компании эксплуатируют автономную технику **более 10 лет:**
 - Rio Tinto, Австралия: 73 автономных самосвала, ж/д транспорт
 - BHP Billiton, Австралия: автономные самосвалы и буровые
 - Codelca, Чили, автономные самосвалы
 - Anglo American, ЮАР, 10 автономных самосвалов
- **В России** проекты беспилотной техники в стадии тестирования:
 - СУЭК: испытания беспилотных автосамосвалов БелАЗ
 - Баимский ГОК: план по тестированию 50 роботов грузоподъемностью 320 т для доставки руды на ОФ

Результаты распределения мнений респондентов и цитаты

25% Планируют внедрять

- «Безлюдные технологии горной добычи – для нас приоритет. Мы уже тестируем беспилотную транспортировку, нужна также автономная погрузка, без нее достичь эффекта не получится»

50% Рассматривают как перспективное направление, но ищут подтверждение бизнес-кейса

- «Для нас, как для высокотехнологичной компании, пока это имиджевая история. Тестируем, но экономики там пока нет».
- «Уровень зрелости технологии пока не подходит для наших условий. В отличие от Австралии, у нас нет длинных дорог, маршруты постоянно меняются. Технологии развиваются, будем пробовать»

25% Не рассматривают в ближайшем будущем

- «В рамках нашей бизнес-модели непонятно, как реализовать данную технологию. **Сложные метеоусловия, высокая стоимость и риски в работе с подрядчиками** не дадут экономического эффекта»



Автоматизация БВР работ: цифровые паспорта и автономные буровые установки



Автономная буровая установка Epiroc SmartROC D65

- Более **75%** горнодобывающих компаний инвестируют в цифровизацию БВР
- В подземной добыче в РФ более 10 лет используются технологии дистанционного бурения Jumbo («Симбо») и автономной добычи в очистном забое Solo в Норникеле и ФосАгро
- Автономные буровые установки эксплуатируются **более 10 лет**:
 - Rio Tinto, Австралия: автономные буровые Pit Viper
 - Newmont, Канада: SmartROC D65, автономное бурение
 - Алроса, Полюс, Норникель: дистанционные буровые станки

Результаты распределения мнений респондентов и цитаты

50% Планируют внедрять

- «Наша ближайшая цель – на **30-50%** снизить расход взрывчатого вещества за счет внедрения оперативной корректировки параметров БВР»
- «Мы не стали ждать импортозамещения от вендоров, и разработали необходимые продукты самостоятельно. У нас сильная команда, и **мы уже оснастили весь парк буровых станков датчиками телеметрии** без привлечения подрядчиков»
- «У нас **исторически был бардак в планировании и ошибки в паспортах БВР**. Только цифровизация может это качественно исправить»

50% Рассматривают как перспективное направление, но ищут подтверждение бизнес-кейса

«Мы бы хотели чтобы БВР производились полностью автономно. Но для нашего региона технологии пока не готовы, также есть регуляторные ограничения. Ближайшее будущее – **автоматическое позиционирование буровых установок**»



Применение динамической диспетчеризации



Динамический диспетчерский пункт для автономных самосвалов, открытый угольный разрез Shitoumei №1, Китай

- ~ **10-15% мировых карьеров** используют динамическую диспетчеризацию
- FMS-системы внедрены на **250+ карьерах по всему миру**:
 - Rio Tinto, Австралия: автономная диспетчеризация ~80 самосвалов в Пилбаре
 - Roy Hill, Австралия: дистанционное управление 9 буровыми Epiroc Pit Viper 271
- Россия также внедряет новые версии FMS:
 - Стойленский ГОК, Россия: система «Карьер» для 12 экскаваторов и 30 БелАЗов
- **Регуляторные ограничения – одно из ключевых препятствий** для внедрения систем в большинстве стран, в том числе в России

Результаты распределения мнений респондентов и цитаты

75% Планируют внедрять

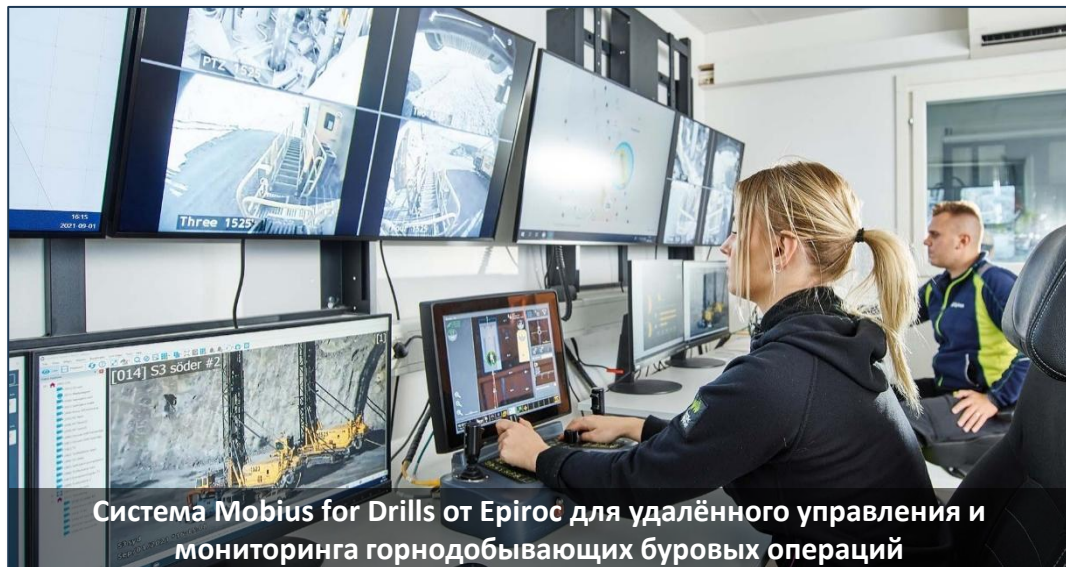
- «**Нам необходимо побороть хаос в карьере.** С нашим числом забоев даже самый опытный диспетчер за всем не уследит; только автоматическая диспетчеризация сможет решить эту проблему»
- «Для нас автоматическая диспетчеризация – **не только про управление парком, но и про выявление причин простоев** и их минимизацию. Сейчас мы уже интегрировали системы диспетчеризации и видео-аналитики: фиксация 70+ статусов без участия человека»
- Мы уже несколько лет назад развернули опер-центры для управления рудниками. На их базе **планируем запуск динамической диспетчеризации**

25% Рассматривают как перспективное направление, но ищут подтверждение бизнес-кейса

- «У нас нет масштабных активов, поэтому пока мы дали диспетчерам больше полномочий для оперативного управления в режиме реального времени»



Применение центров управления производством (ЦУП)



Система Mobius for Drills от Epiroc для удалённого управления и мониторинга горнодобывающих буровых операций

- Большинство крупных горнодобывающих предприятий мира уже **внедряют центры удалённого управления** производством:
 - Rio Tinto, Австралия: управляет парком из 130 автономных а/с
 - Vale, Бразилия: управляет 15 активами через единый центр
- В России более **40% предприятий рассматривают проекты диспетчеризации** через единые ЦУП:
 - Норильский Никель – внедрение единого интеграционного операционного центра управления в реальном времени процессами ГОКа (горные работы, обогащение, металлургия, логистика, энергетика)
 - АЛРОСА, карьер “Зарница”: внедрила система «Цифра.Карьер» – автоматизированный центр управления горным транспортом

Ключевые преимущества ЦУП

ЦУП обеспечивает улучшение КПЭ за счет **централизации данных, их анализа в реальном времени и оперативного управления** на основе единой картины, переводя процессы на проактивный и оптимизированный уровень.

Изменения в процессах, по результатам развертывания ЦУП:

- **Управление:** предупреждение проблем, вместо реагирования.
- **Координация:** устранение разрозненности между функциями.
- **Скорость:** быстрые решения на базе единой картины.
- **Контроль:** централизованный мониторинг соблюдения стандартов.

Улучшаемые КПЭ и рычаги влияния для достижения эффектов:

- **Производительность:** снижение простоев, оптимизация загрузки оборудования и потоков, быстрая реакция на узкие места.
- **Эффективность:** оптимизация маршрутов техники, контроль режимов работы энергоёмкого оборудования, снижение потерь (анализ качества руды/концентрата в реальном времени).
- **Качество:** оперативная корректировка параметров переработки на базе онлайн-аналитики, контроль соблюдения тех-режима.
- **Логистика:** динамическая оптимизация движения транспорта, сокращение времени погрузки/разгрузки.
- **Безопасность:** раннее выявление опасностей (датчики, видео-аналитика), координация служб, контроль соблюдения ТБ.



Применение дронов для обследования забоев в подземной добыче



Запуск дрона в подземной выработке, австралийский стартап Emesant

- С 2016 года > 70% крупных ГМК используют дроны в операциях
- Из них 83% - для топографической съёмки, 68% - для мониторинга объектов:
 - IFDC, Оман: дрон Flyability Elios 3 в подземном руднике ускорил послевзрывные инспекции на 60%
 - Glencore Kidd Mine, Канада: ежедневные облёты недоступных участков забоя на самом глубоком в мире руднике
- В России также активно внедряются передовые беспилотные технологии в горнодобыче:
 - Норникель, рудник «Комсомольский», Россия: тест дрона с лидаром в условиях Заполярья

Результаты распределения мнений респондентов и цитаты

75% Планируют внедрять

- «Для нас это не новая технология. Мы, наверное, одними из первых в России это протестировали и давно используем»
- «Планируем внедрять, но у нас не везде есть устойчивое покрытие сетью. Без него запускать будет неэффективно»

25% Рассматривают как перспективное направление, но ищут подтверждение бизнес-кейса

«На угле пока нет возможности это запустить. Нужны проверенные взрывозащищенные дроны, мы пока подтвержденного опыта не видели»

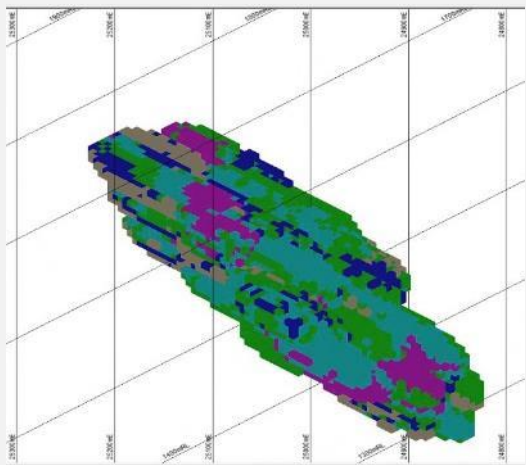


Проектирование работ

Срок отработки

Геолого-экономическая модель отработки месторождения

- Перспективный план отработки до истощения запасов
- Детализированная блочная модель рудного тела
- Трехмерная модель проходческих и очистных выработок
- Оптимальный выбор системы разработки месторождения

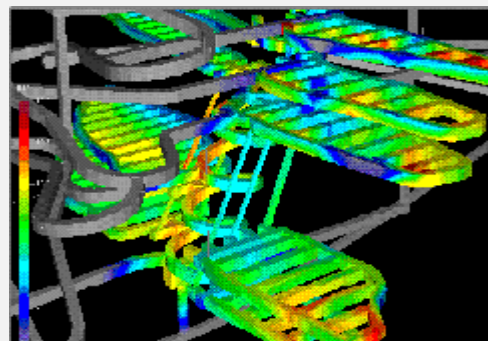


Среднесрочный план

3 лет - квартал

Тактическая модель планирования

- Оценка выполнимости долгосрочных планов
- Учет последовательности отработки при развитии горных работ
- Моделирование рудопотоков и выдачи породы
- Ведение базы данных точек и координат для планирования направлений
- Планирование производительности



Краткосрочный план

Месяц - смена

Операционная модель планирования

- Детализированный план работ на короткий интервал с высокой дискретностью
- Перепланирование периода на основании фактических данных отработанной смены
- Оптимизация рудопотоков для целевого содержания на выходе
- Распределение техники и выдача нарядов в зависимости от доступности и расположения техники
- Облачное хранение инф-ции и онлайн сбор данных



Онлайн корректировка

Внутри смены

Система передачи и сбора информации

- Решение для сотового телефона/планшета
- Детальный наряд на смену для каждой единицы техники
- Онлайн мониторинг:
 - Текущего статуса работ
 - Состояния выработок
 - Позиционирования и телеметрии
- Расчет оставшегося объема работ и готовности к следующим операциям в циклах
- Предписания к остановке работ



Долгосрочной целью большинство компаний видят переход к автономному «безлюдному» ГОКу, который может быть реализован за счет внедрения ряда инструментов цифровизации и беспилотных систем



Инструменты управления «безлюдным» ГОКом

Цифровой двойник и центральный ИИ-диспетчер:

главный инструмент для удаленного управления ГОКом в реальном времени



Удаленные экспертные центры:

сотрудники наблюдают за работой нескольких активов, вмешиваются в кризисных ситуациях и для стратегического планирования



Роботизированные сервисные центры:

автономные и полу-автономные площадки для диагностики, ремонта, зарядки техники, роботов и дронов



Высоконадежная связь и кибербезопасность:

комбинация из дублированных сетей и систем для обеспечения бесперебойного функционирования



«Безлюдный» подземный рудник

Автономные буровые комплексы: роботы-бурильщики, работающие по заданной ИИ геомодели, адаптирующиеся к параметрам породы онлайн



Роботизированные ПДМ и транспортные системы: высокоэффективная логистика руды от забоя до поверхности, или напрямую на фабрику



Рой инспекционных и ремонтных дронов и роботов:

оснащены датчиками, отслеживающие параметры техники и состояния шахты, обеспечивающие быстрое реагирование



Интеллектуальные системы безопасности: датчики для предсказания обрушений, микросейсмического мониторинга и системы пожаротушения и обеспечения безопасности



«Безлюдный» карьер

Единый геологический и геотехнический ИИ-оптимизатор: автоматическая оптимизация плана отработки карьера, с учетом параметров экономической модели и рудного тела



Синхронизированные ИИ-диспетчеризация и ИИ-шихтование: автоматическая диспетчеризация техники с учетом потребностей фабрики и управления шихтой



Автономные самосвалы, экскаваторы, буровые станки и вспомогательная техника: беспилотное управление техникой, взаимодействие различных типов оборудования



Рой контрольных и вспомогательных дронов: проведение маркшейдерских замеров, анализ соблюдения плана работ, контроль техники безопасности






1	Резюме: подход к исследованию, основные тенденции и предпосылки цифровизации	1
2	Внедренные цифровые технологии и достигнутые эффекты (ретроспективный взгляд)	8
3	Карта дальнейшей цифровой трансформации отрасли – кейсы и тренды	22
4	Рекомендации для дальнейшей «умной» цифровизации	37



Направления	Проблематика для горнодобывающих компаний	Примеры решений
Оборудование	<ul style="list-style-type: none">• Горная техника: Зависимость от импортных автосамосвалов (прим., Komatsu, Caterpillar), буровых установок (Sandvik, Atlas Copco) и систем мониторинга• Роботизированные системы: Отсутствие российских аналогов автоматизированных буровых комплексов и систем дистанционного управления• КИПиА: Дефицит отечественных высокоточных датчиков для контроля параметров работы техники и окружающей среды	<ul style="list-style-type: none">• Замещение техники от Китайских и Белорусских производителей• Развитие отечественных роботизированных технологий• Поставка аналогов Китайских и Российских производителей
Программное обеспечение и технологии	<ul style="list-style-type: none">• Геология и планирование: До сих пор активно используются зарубежное ПО Macromine, MineSched, Deswik, но появляются проблемы с обновлением• Обработка больших данных: Зависимость от систем обработки больших данных и оптимизаторов• Связь: Отсутствие российских решений для высокоскоростной связи в карьерах и подземных рудниках (пример - 5G)	<ul style="list-style-type: none">• Формирование партнерств с Российскими вендорами и разработка ИТ-решений совместными усилиями / инвестициями
Компетенции	<ul style="list-style-type: none">• Дефицит специалистов по цифровым горным технологиям с симбиозом понимания технологии производства работ и цифровых решений• Низкий темп развития продуктов отечественными вендорами• Ограниченный обмен опытом из-за санкций и ухода международных компаний	<ul style="list-style-type: none">• Обучение и развитие компетенций ИТР и рабочих• Обмен опытом между промышленными предприятиями и со смежными индустриями

Импортозамещение – общая тема для всех технологий. В ряде направлений успешно реализуется, при этом есть зоны для развития:

 Развитые компетенции: продукты для маркшейдерии, БВР, планирования, компьютерного зрения, беспилотной техники, ИИ, телеметрии

 Сложности с импортозамещением: комплексные специализированные продукты (аналог Micromine), датчики, системы связи

По результатам исследования сформулированы рекомендации по основным направлениям и составляющими аспектам цифровизации активов



Направления	Рекомендации	
1. Решение прикладных задач	1.1. Моделирование, управление и отчетность	<ul style="list-style-type: none"> Внедрить цифровые двойники с использованием ГИС платформ ли адаптация open-source решений (QGIS с доработками) для создания 3D-геологических и горно-технологических моделей Интегрировать цифровой двойник с данными дистанционного зондирования (ДЗЗ) и с беспилотников для регулярного обновления моделей Внедрить BI-системы (например, DataLens от Yandex Cloud, Power BI с отечественной поддержкой) для создания дашбордов в режиме реального времени для руководства
	1.2. Энерго-эффективность	<ul style="list-style-type: none"> Внедрить системы smart grid для управления нагрузкой: автоматическое отключение неиспользуемого оборудования, работа в часы минимальных тарифов Использовать ПО для анализа больших данных для выявления аномального потребления и прогнозирования пиковых нагрузок
	1.3. Мониторинг и продвинутая аналитика	<ul style="list-style-type: none"> Развернуть платформу для сбора данных с датчиков по всем направлениям деятельности. Рассмотреть российские облачные платформы (Yandex Cloud, СберОблако, МТС Cloud) с поддержкой IoT-сервисов или on-premise-решения Разработать и обучить ML-модели для прогнозирования Геотехнологических рисков, Качества руды, Отказов оборудования
	1.4. Управление техникой	<ul style="list-style-type: none"> Максимизация эффективности использования оборудования (ОЕЕ) и снижение затрат на ремонты, включая полное оснащение телематикой, внедрение динамической диспетчеризации, обеспечение наличия цифровых паспортов по каждой единице техники
	1.5. Безопасность и охрана труда	<ul style="list-style-type: none"> Внедрить программные комплексы управления охраной труда (например, на базе 1С), автоматизирующие процессы инструктажей, допусков на работу и расследования инцидентов
2. Стратегия цифровизации	<ul style="list-style-type: none"> Становиться «первопроходцами» во внедрении цифровых решений без ожидания успешно реализованных кейсов конкурентами Эффекты в моменте не всегда единственный критерий одобрения проекта – часть эффектов от реализации цифровых решений могут не подтверждаться в моменте, но при изменении макро- или других предпосылок решение может оказаться необходимым 	
3. ИТ инфраструктура	<ul style="list-style-type: none"> Переход на российские ERP-решения, учитывающие отраслевую специфику (учет по пластам, запасным частям) Проработать проблемы с низким качеством данных за счет определения единого ответственного за данные, определения стандартов и регламентов к данным и создания единого окна доступа к данным Стандартизировать протоколы связи (OPC UA) для обеспечения совместимости оборудования разных производителей 	
4. Организационные возможности	<ul style="list-style-type: none"> Развитие «цифровых компетенций» в рамках производственных функций компании путем обучения, установки КПЭ, ознакомления с опытом лидеров отрасли, определение ответственных «влиятельных» руководителей за цифровые изменения Сделать упор на культурные изменения производственного персонала в части 	

Основываясь на опыте и результатах опроса экспертов мы выявили 6 факторов успеха при внедрении цифровых инструментов планирования



Фактор успеха

Пояснения

1. Инструменты надежны и удобны

- Инструмент должен выдавать адекватные значения или измеримые улучшения (прим., минимум **на 95% корректный** план – отсутствие очевидных пользователю ошибок, снижение трудоемкости операций), иначе его не будут воспринимать серьезно
- Нужна **оперативная техническая поддержка** для устранения ошибок и адаптации инструментов
- Инструменты должны быть **удобны** для пользователя, учитывать его **уровень квалификации** и, по возможности, **облегчать его работу** (например, планшет мастера – не только инструмент ввода факта, но и способ оперативного получения чертежей, паспортов и т.п.)

2. Изменения внедряются «сверху – вниз»

- Задача **руководства** – дать всем ясно понять, что работа с новыми инструментами **неизбежна**
- Нужна **коммуникационная кампания**, поддерживающая изменения
- Требуется исключить другой способ работы (например, для рассмотрения принимается только план, сделанный в новом инструменте)

3. Изменение процессов идет параллельно с внедрением инструментов

- Инструменты не заработают, пока не **изменены процессы**, в которых они задействованы
- Внедрение новых процессов требует времени и обычно **нескольких итераций изменений**
- Вероятно **изменение ролей и ответственности** подразделений, может потребоваться изменение организационной структуры

4. Найдена оптимальная скорость и этапность внедрения

- Требуется **баланс** между скоростью внедрения и скоростью адаптации организации к новым практикам
- Целесообразно внедрять **от простого к сложному** (например, сначала добиться аккуратного ввода факта в систему, а потом внедрять печать нарядов из системы)

5. Где возможно, учитывается сложившаяся практика

- Если инструменты **естественно вписываются** в существующую практику, их легче принимают
- Например, лучше использовать существующие планерки, чем заводить новые; использовать привычные форматы документов (насколько возможно), а не внедрять альтернативные

6. Поставлены четкие КПЭ процесса и цели

- Необходимо уметь **измерять прогресс** во внедрении новых инструментов / процессов (например, измерение % попадания в план по направлениям на различных горизонтах)
- Должны быть **поставлены и донесены** до всех целевые значения КПЭ, **отслеживаться** факт