

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

О.М. Зиновьева<sup>1</sup>, Д.С. Кузнецов<sup>1</sup>, А.М. Меркулова<sup>1</sup>, Н.А. Смирнова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС»

**Аннотация:** В настоящее время одним из основных направлений развития горнодобывающей промышленности становится ее цифровая трансформация, связанная с внедрением IT-технологий в различные процессы. Цифровые технологии могут значительно сократить расходование ресурсов на выполнение производственных процессов, снизить число ошибок в рутинных процессах, помочь персоналу в решении сложных задач в ограниченное время, повысить уровень безопасности. В статье приведен анализ цифровых технологий, применяемых на горнодобывающих предприятиях Российской Федерации. Это и широко применяемые системы позиционирования, электронного документооборота, электронные информационно-образовательные среды, роботизированная техника, система контроля ношения средств индивидуальной защиты и др. А также менее распространенные – дроны, VR и AR технологии, экзоскелеты. Приведены примеры комплексных решений, представленных в настоящее время на рынке. Такие решения позволяют системно цифровизировать различные процессы, интегрируя их в общую систему управления предприятием. Многие крупные горнодобывающие предприятия уже внедрили и успешно используют их с целью повышения эффективности своей работы и уровня безопасности. Выявлены основные положительные аспекты от внедрения цифровых технологий, а также ограничения и основные сложности. Определены основные перспективные направления в цифровизации системы управления промышленной безопасностью, реализация которых позволит в скором будущем перейти к модели «цифрового рудника».

**Ключевые слова:** цифровизация, информационные технологии, горное дело, промышленная безопасность, система управления промышленной безопасностью, цифровой рудник.

**Для цитирования:** Зиновьева О.М., Кузнецов Д.С., Меркулова А.М., Смирнова Н.А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

### Digitalization of industrial safety management systems in mining

O.M. Zinovieva<sup>1</sup>, D.S. Kuznetsov<sup>1</sup>, A.M. Merkulova<sup>1</sup>, N.A. Smirnova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NUST "MISIS", Moscow, Russia

**Abstract:** Currently, one of the main directions in mining industry development is digital transformation associated with digital technologies implementation in various processes. Digital technologies can significantly reduce the use of resources to complete production processes, reduce the number of errors in routine processes, help staff solve complex tasks in a

limited time, and increase security. The article provides an analysis of digital technologies used in mining enterprises of the Russian Federation. This includes widely used positioning systems, electronic document management, electronic information and educational environments, robotic equipment, a system for monitoring the wearing of personal protective equipment, etc. And also less common – drones, VR and AR-technologies, exoskeletons. Examples of complex solutions currently available on the market are given. Such solutions allow systemically digitalizing various processes, integrating them into the overall enterprise management system. Many huge mining companies have already implemented and are successfully using them to improve their performance and safety. The main positive aspects of digital technologies implementation, as well as limitations and main difficulties are identified. The main promising directions in the digitalization of industrial safety management system are identified, the implementation of which will allow switching to the “digital mine” model in the near future.

**Key words:** digitalization, information technology, mining, industrial safety, industrial safety management system, digital mine.

**For citation:** Zinovieva O.M., Kuznetsov D.S., Merkulova A.M., Smirnova N.A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):113-123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

---

## Введение

Горнодобывающие предприятия, относящиеся к опасным производственным объектам (ОПО) I или II класса опасности, в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации обязаны создавать системы управления промышленной безопасностью и обеспечивать их функционирование. Кроме этого, большинство предприятий, для которых это требование не является обязательным, в целях повышения эффективности менеджмента внедряют такие системы на добровольной основе, интегрируя их с другими системами управления.

Под *системой управления промышленной безопасностью* понимают комплекс взаимосвязанных организационных и технических мероприятий, осуществляемых организацией, эксплуатирующей опасные производственные объекты, в целях предупреждения аварий и инцидентов на опасных производственных объектах, локализации и ликвидации последствий таких аварий.

В современных условиях эффективное решение такой комплексной задачи не представляется возможным

без использования цифровой среды. Одной из основных задач государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу является «развитие и внедрение информационных технологий, позволяющих осуществлять взаимодействие с эксплуатирующими организациями, оптимизировать процесс получения, хранения и анализа информации о производственном контроле за соблюдением требований промышленной безопасности, о системах управления промышленной безопасностью, об авариях и инцидентах на промышленных объектах». В соответствии с государственными докладами Ростехнадзора присутствует тенденция повышения уровня безопасности на объектах горнорудной и угольной промышленности, о чем свидетельствует снижение уровня аварийности и смертельного травматизма за период с 2005 по 2018 гг.. При этом по результатам расследования основной причиной аварийности и травматизма по-прежнему остается так называемый «человеческий фактор». Что свидетель-

ствуется о необходимости, с одной стороны, снижения нагрузки на персонал, и исключения возможных неправильных действий под влиянием стресса в нестандартных ситуациях, с другой. Это может быть реализовано посредством цифровизации части выполняемых им рутинных действий, а также контроля принятия решений в экстренных ситуациях (например, при аварии) [1, 2].

В настоящее время Ростехнадзор внедряет цифровую платформу с элементами дистанционного контроля промышленной безопасности на ОПО. Платформа будет обеспечивать непрерывное получение и обработку информации о технологических процессах и данных, определяющих безопасность объекта. Главными задачами платформы являются снижение административной нагрузки на предприятия и уменьшение рисков аварийных ситуаций.

Таким образом, вопрос цифровизации в настоящее время для промышленных предприятий является насущной необходимостью.

Следует добавить, что по оценкам Всемирного экономического форума [3] внедрение цифровых технологий в горной и металлургической промышленности в мире в период с 2016 по 2025 гг. принесет от 428 до 784 млрд долларов США дополнительной экономической стоимости, что эквивалентно трем процентам выручки всей отрасли за десять лет работы.

### **Современное состояние цифровизации на горнодобывающих предприятиях**

Предприятия горнодобывающей отрасли в настоящее время активно используют системы сбора и предварительной обработки информации для получения необходимых данных о ходе технологического процесса,

контроля соответствия параметров процесса допустимым значениям, вычисления необходимых показателей и периодической регистрации результатов [4–8]. Цифровые системы сбора и обработки первичной информации отражают текущие значения параметров и их влияние на состояние оборудования и других элементов.

Кроме того, на ряде горнодобывающих предприятий уже имеется положительный опыт внедрения и использования эффективных цифровых решений для промышленной безопасности и охраны труда. К таким решениям относятся:

- внутренняя система электронного документооборота предприятия;
- система планирования и контроля исполнения работ в области промышленной безопасности и охраны труда в электронной информационной среде;
- контроль предсменных профилактических осмотров и инструктажей;
- обучение (инструктажи) и тестирование персонала в электронной информационно-образовательной среде;
- применение технологии дистанционного управления и роботизированной техники при транспортировке, бурении и других процессах (роботизированные самосвалы, буровые станки и др.);
- система позиционирования персонала и техники;
- мониторинг устойчивости откосов и бортов карьера;
- охранные системы объектов предприятия;
- средства аварийного оповещения персонала;
- система контроля ношения средств индивидуальной защиты (СИЗ);
- мониторинг состояния здоровья персонала;
- алкотестирование;

– беспилотные летательные аппараты (промышленные дроны) и др.

Для управления корпоративными данными и нормативно-справочной информацией широко используются корпоративные учетные системы, формирующие единое информационное пространство. Такие системы позволяют осуществлять централизацию управления, создавать единую систему документооборота и цифрового хранилища документации. Основное преимущество таких платформ — возможность выработки для всех подразделений предприятия (группы компаний) решений и мероприятий, контроль и централизация всех процессов, в том числе управления промышленной безопасностью и охраной труда, изменение корпоративной культуры.

Безопасность горных работ часто достигается путем вывода персонала из опасных зон или сокращения количества персонала в этих зонах за счет применения *дистанционного управления* или *роботизированной техники* [9]. Примером такого информационного решения могут быть роботизированные самосвалы «БЕЛАЗ», работающие на базе технологий искусственного интеллекта. Погрузчик самостоятельно строит 3D-модель горной массы для погрузки, устанавливает оптимальный порядок действий и соотносит свое перемещение с положением самосвала. Помимо оптимизации различных производственных операций, минимизации времени простоев техники, решения проблемы поиска квалифицированных рабочих кадров при добыче полезных ископаемых в труднодоступных регионах с тяжелыми природными и климатическими условиями, такая технология исключает нахождение работника на опасных участках работ и позволяет осуществлять добычу полезных ископаемых в зонах повышенной запы-

ленности и загазованности, например, после взрыва.

Большое внимание в настоящее время уделяется организации *зонального* и *точного позиционирования*. Наличие системы позиционирования на объектах горнодобывающей промышленности — требование законодательства Российской Федерации. Кроме того, системы должны быть автономными для обеспечения дополнительной безопасности персонала и горнодобывающей техники при отсутствии электроэнергии и осуществлять непрерывную самодиагностику для своевременного выявления сбоев и неполадок в работе и принятия соответствующих мер.

Такие системы позволяют предупредить случаи нахождения персонала в опасных зонах (например, попадания человека в зону работы технологического оборудования), предотвращать столкновения транспортных средств и наезда транспорта на людей, что позволяет снизить количество несчастных случаев на производстве и затраты предприятия на восстановление транспортных средств после столкновений.

Огромное значение системы позиционирования имеют при авариях, позволяя в любой момент времени определять местонахождение персонала, получать обратную связь, строить индивидуальные маршруты эвакуации, оценивать потребность в спасательном транспорте с учетом количества людей и их местоположения на объекте, осуществлять поиск людей, находящихся под завалами в бессознательном состоянии. Современное оборудование позволяет достигать точности позиционирования от 5 м. Примером такого решения может быть «Браслет-Про: Локализация и оповещение».

В качестве примера инструмента для *мониторинга откосов и бортов карьера*, особенно для скальных место-

рождений, можно привести наземный георадар IBIS-FM, а также радарные системы Reutech Mining (для определения устойчивости бортов и анализа подповерхностных структур).

Для предупреждения несчастных случаев и аварий очень важным является получение в режиме реального времени максимально полной информации об обстановке в горных подземных выработках и наличие действующей системы оповещения персонала. Для этого происходит сбор данных со всех дистанционных устройств — датчиков мониторинга параметров рудничной атмосферы, обнаружения ранних признаков пожаров, измерение скорости воздушных потоков в подземных выработках и др. [10—15]. Так, для предупреждения взрыва метана используют датчики отслеживания показателей аэрологической обстановки в шахте. В случае превышения допустимой концентрации метана система оповещения персонала срабатывает автоматически, и диспетчер оперативно принимает меры по нейтрализации опасности или организует эвакуацию людей.

Для всех промышленных предприятий, а для горнодобывающих особенно, крайне важным является выявление лиц, находящихся в алкогольном опьянении, причем не только в момент прихода на работу, но и в течение всего рабочего дня. Для контроля трезвости персонала на многих предприятиях сегодня имеются системы *алкотестирования*. Применение таких систем позволяет своевременно не допустить нетрезвый персонал к работе, избежать возможных травм и аварий.

*Беспилотные летательные аппараты* сегодня используют для получения критически важной информации на горных выработках, в том числе на труднодоступных или недоступных для людей участках, для построения

цифровой 3D модели месторождения, для обследования зданий и сооружений. Их использование сокращает время на сбор и обработку информации, повышает уровень безопасности ведения горных работ, позволяет исключать ошибки, связанные с «человеческим фактором». В настоящее время проходят испытания подземного дрона, который может автономно перемещаться по выработкам и проводить их проверку.

### **Реализуемые проекты, компании-лидеры отрасли**

Сегодня на рынке предлагаются различные *комплексные цифровые решения* для повышения эффективности и безопасности промышленных предприятий в зависимости от их специфики и возможностей. Такие продукты предлагают Центр2М, «ВИСТ Групп» (входит в ГК «Цифра»), ООО «Концерн Гудвин (Гудвин Европа)» и др.

Одним из комплексных цифровых решений мониторинга безопасности на предприятии является система промышленной видеоаналитики CenterVision. Используя камеры с высоким разрешением и искусственный интеллект, система позволяет отслеживать производственный процесс в режиме реального времени, фиксировать отклонения в работе предприятия, сбои оборудования, факты нарушения сотрудниками техники безопасности, контролировать исправность систем защиты, анализировать и практически мгновенно уведомлять об опасных ситуациях ответственных лиц, готовить отчетность. Для распознавания объектов система использует нейронные сети. Система имеет высокую точность распознавания — до 98 %, способна распознавать малые объекты с расстояния от 50 до 70 м. Кроме того, работа системы не зависит от погодных

условий, а время передачи сообщения о нарушении составляет 2,4 с. Система может быть настроена на распознавание отсутствия спецодежды у работников предприятия, касок, перчаток, респираторов и других СИЗ.

Еще одним комплексным цифровым решением повышения безопасности на предприятии является система «Гудвин-Нева», представляющая собой аппаратно-программный комплекс, в состав комплекса входят базовое оборудование, абонентские устройства и управляющая платформа, на которую передаются все данные и с помощью которой диспетчер может наблюдать за работниками, определять их местоположение, поддерживать с ними связь, давать оперативные указания, контролировать и руководить рабочими процессами, контролировать наличие СИЗ на работнике, доступ в помещения, а также определять состояние здоровья человека (наличие алкогольного опьянения, пульс, артериальное давление), его активность и параметры окружающей среды, в которых он находится (температуру, влажность, загазованность). Все данные на экране отображаются в режиме онлайн, задержка может составлять несколько секунд. Система хорошо себя зарекомендовала в работе, как при низких температурах (до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), так и в горячих цехах.

Интересным инструментом обеспечения безопасности в горном деле является комплексное решение VG Work&Safety, в рамках которого на предприятии создается автоматизированная система управления безопасностью. Система включает автономную нарядную систему для персонала (формирование, согласование наряд-заданий, наряд-допусков, в том числе подрядных организаций), прохождение предсменных медицинских осмотров и инструктажей, контроль выполнения

работ, фиксацию нарушений (участки с нарушениями и местоположение персонала отображаются в режиме онлайн на карте предприятия), оповещения об угрозах для сотрудников в специальном мобильном приложении, детальную аналитику и отчетность.

В настоящее время описанными выше цифровыми технологиями пользуются такие компании, как ПАО «Норникель», АО «СУЭК», АО «Металлоинвест», ПАО «Полюс», ПАО «Мечел», АО ХК «СДС Уголь», ОАО «УГМК», АО «Полиметалл», ПАО «Северсталь», ПАО «НМЛК» и другие.

Наряду с часто используемыми и уже хорошо зарекомендовавшими себя в горном деле цифровыми технологиями для повышения эффективности и безопасности производства существуют и менее распространенные технологии, а также перспективные разработки, которые существуют в основном в рамках пилотных проектов, например, системы виртуальной и дополненной реальности, экзоскелеты и др.

Рынок *виртуальной и дополненной реальности (VR/AR-технологии)* в Российской Федерации на сегодняшний день только формируется, но согласно экспертным оценкам, объем этого рынка в 2022 г. составит минимум 9,2 млрд руб. Среди отечественных компаний-разработчиков на рынке VR/AR-решений присутствуют VR Concept, Modum Lab, HoloGroup, Intelligent Ideas, Сибур и др.

VR-технологии погружают человека в иммерсивный виртуальный мир (шлемы виртуальной реальности) и открывают принципиально новые возможности для повышения квалификации персонала, обучения новых сотрудников, ремонта имеющегося оборудования и др. На них отрабатываются не только стандартные

операции, но и последовательность действий при аварии. Такие технологии повышают эффективность обучения в 1,5–2 раза за счет наилучшего использования образной памяти.

AR-технологии характеризуются тем, что с помощью различных устройств («умных очков», планшетов, смартфонов) на реальное окружение накладываются виртуальные элементы и цифровые данные (инструкции работникам, подсказки, параметры работы оборудования, место возможной неисправности, серийный номер детали под замену и др.), помогающие персоналу принимать решения. Можно управлять процессами с помощью голосовых команд, получать информацию об оборудовании по нанесенным на него штрих-кодам, обеспечивать связь специалистов цехов с профильными службами предприятия (например, для консультации удаленного эксперта во время ремонта и настройки оборудования). Примером таких технологий являются Skylight компании Upskill и российская разработка Itorum MR на основе очков дополненной реальности Vuzix M 300.

Перспективным направлением развития техники, которое в ближайшие годы займет свое место в технологических процессах на предприятиях, в том числе горной отрасли, являются *экзоскелеты*. Основная задача внедрения на производстве экзоскелетов заключается в снижении физической нагрузки на работников и производственного травматизма, связанного с подъемом и перемещением тяжестей. Модульный промышленный экзоскелетный комплекс состоит из интегрируемых деталей, благодаря чему есть возможность подбирать элементы под потребности конкретного производственного процесса. В экзоскелет можно встраивать ГЛОНАСС-модули, газоанализаторы, автоматическое включение допол-

нительного освещения, датчик груза для статистики поднимаемой тяжести. В перспективе планируется оснастить экзоскелет системой нейроинтерфейсов для осуществления прямого информационного обмена между мозгом и компьютером.

### **Перспективы дальнейшего применения информационных технологий**

На основе анализа опыта применения цифровых технологий в области обеспечения безопасности на горнодобывающих предприятиях можно выделить основные положительные аспекты — снижение бумажного документооборота и трудоемкости работ и, вследствие этого, высвобождение времени персонала, повышение качества аналитической отчетности, повышение оперативности управления за счет единого информационно-коммуникационного пространства, повышение уровня контроля и вовлеченности персонала в решение вопросов безопасности и др. Кроме того, цифровизация систем управления способствует повышению культуры безопасности персонала, что в конечном итоге приводит к снижению уровня аварийности и смертельного травматизма на предприятии и в отрасли в целом.

К основным проблемам дальнейшей цифровизации системы управления промышленной безопасностью можно отнести значительную стоимость цифровых решений, необходимость обучения персонала, техническое оснащение, которое нужно интегрировать в существующую среду, обеспечение защиты информации (например, от кибератак или при технических поломках хранилищ), низкая мотивация персонала в цифровизации (опасение уменьшения численности персонала и, как следствие, потери работы), отсутствие



Рис. 1. Направления цифровизации системы управления промышленной безопасностью  
 Fig. 1. Directions of digitalization of the industrial safety management system

у компаний-разработчиков цифровых решений компетенций для разработки грамотной цифровой стратегии с учетом отраслевой специфики. Дополнительно предприятию потребуется постоянная модернизация существующей IT-инфраструктуры, основой которой являются мощные надежные сервера с защитой памяти и бесперебойной производительностью.

Таким образом, можно выделить перспективные направления в цифровизации системы управления промышленной безопасностью, схематично представленные на рис. 1.

По мнению большинства экспертов, следующим шагом цифровизации предприятий горнодобывающей промышленности будет переход к «Цифровому руднику» — технологии, позволяющей виртуально воспроизводить состояние рудника в динамике. Такой цифровой двойник позволит моделировать различные сценарии внештатных и аварийных ситуаций с целью повышения точности

и скорости принятия решений, обработки необходимых действий [16–18].

### Заключение

Цифровизация в настоящее время стала реальным инструментом повышения эффективности работы компаний во всех отраслях, даже таких консервативных, как горнодобывающая. Внедрение IT-технологий во все процессы предприятий происходит в том числе и в системе управления промышленной безопасностью и охраной труда. А вопросы безопасности являются приоритетными и актуальными для любого предприятия, в особенности горнодобывающего.

Помимо повышения общей эффективности и производительности производства, снижения рутинной нагрузки на персонал, сокращения затрат, контроля существующих запасов, оборудования и готовой продукции, цифровизация предприятий помогает автоматизировать и оптимизировать



повседневные задачи специалистов в области производственной безопасности, а также осуществлять управление безопасностью на предприятии, что способствует снижению уровня аварийности и травматизма. А планирование на основе моделирования с использованием виртуальных двойников позво-

лит горнодобывающим предприятиям анализировать процессы в виртуальной среде и прогнозировать операционную эффективность с использованием сценариев «что, если», тем самым разрабатывать превентивные мероприятия, направленные на повышение уровня безопасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельникова Д.А., Алекина Е.В., Яговкин Г.Н., Воропаева Л.В. Человеческий фактор как объект обеспечения безопасности жизнедеятельности // Безопасность жизнедеятельности. — 2019. — № 4. — С. 18–22.
2. Воробьева О.В. Влияние человеческого фактора на риск аварий и травм в горнодобывающей промышленности // Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 8. — С. 67–70.
3. Цифровизация в горной промышленности. Индустрия 4.0. Материалы международного форума 24–25 октября 2019 года [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: — <https://tu-ugmk.com/upload/NPF-journal.pdf>
4. Rct-global. Цифровая трансформация в горнодобывающей отрасли, 2020. [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: — [RCT\\_Digitisation-in-Mining-paper\\_SBBK1120001\\_RU\\_V8\\_LR.pdf](https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020)
5. Лютягин Д.В., Яшин В.П., Забайкин Ю.В., Якунин М.А. Особенности и тенденции цифровой трансформации российской горнодобывающей отрасли // Экономика: вчера, сегодня, завтра. — 2019. — Т. 9. — № 7–1. — С. 147–159.
6. Рыльников А.Г., Пыталев И.А. Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли: технические решения и технологические вызовы // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2020. — Вып. 1. — С. 470–479.
7. Shalimova A.V., Filin A.E., Davydenko A.A. Analysis of evaluation results of occupational health, industrial and environmental safety management systems at enterprises of mining and smelting complex. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019, 2020, 1, pp. 100–105. <https://doi.org/10.1201/9781003014577>.
8. Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T. Deep excavation in urban areas – defects of surrounding buildings at various stages of construction. // MATEC Web Conf. Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/mateccnf/20181460201>.
9. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации // Горная Промышленность. — 2020. — № 1. — С. 8–11.
10. Скопинцева О.В., Баловцев С.В. Управление аэрологических рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 1. — С. 78–89. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.
11. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.
12. Баловцев С.В., Шевчук Р.В. Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 8. — С. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.
13. Ганова С.Д., Скопинцева О.В., Исаев О.Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования


их потенциальной опасности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2019. — Т. 330. — № 6. — С. 109–115.

14. Мусина В.Р., Головки И.В., Шерматова С. Типизация пересечения углепородных отвалов геодинамически опасными зонами // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 233–241. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-233-241.

15. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.

16. Dolgui A. et al. Data Mining-Based Prediction of Manufacturing Situations // IFAC-PapersOnLine. 2018. Т. 51. No. 11. Pp. 316–321.

17. Bakhtadze N., Suleykin A. Industrial digital ecosystems: Predictive models and architecture development issues // Annual Reviews in Control. — 2020.

18. Гришин В.Ю., Булаева Н.М., Коликов К.С., Батугин А.С., Лубенская Н.А. Цифровые технологии для прогнозирования процессов и явлений, сопровождающих закрытие шахт // Мониторинг. Наука и технологии. — 2020. — № 2 (44). — С. 12–18. DOI: 10.25714/MNT.2020.44.002. 

## REFERENCES

1. Melnikova D.A., Alekina E.V., Yagovkin G.N., Voropaeva L.V. Human factor as an object of ensuring the safety of life. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2019, no. 4, pp. 18–22. [In Russ].

2. Vorobyeva O.V. Influence of the human factor on the risk of accidents and injuries in the mining industry. *Occupational Safety in Industry*. 2010, no. 8, pp. 67–70. [In Russ].

3. Digitalization in the mining industry. Industry 4.0. Materials of the international forum 24–25 October 2019 [Electronic resource] — access Mode: URL: — <https://tu-ugmk.com/upload/NPF-journal.pdf>.

4. Rct-global. Digital transformation in the mining industry, 2020. [Electronic resource] — access Mode: URL: — [RCT\\_Digitisation-in-Mining-paper\\_SBBK1120001\\_RU\\_V8\\_LR](https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021). Pdf.

5. Lyutyagin D.V., Yashin V.P., Zabaykin Yu.V., Yakunin M.A. *Osobennosti i tendentsii tsifrovoy transformatsii rossiyskoy gornodobyvayushchey otrasli* [Features and trends of digital transformation of the Russian mining industry] *Economy: yesterday, today, tomorrow*. 2019. Т. 9. no. 7–1. Pp. 147–159. [In Russ].

6. Rilnikov A.G., Pytalev I.A. Digital transformation of the mining industry: technical solutions and technological challenges. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle*. 2020. Issue. 1. Pp. 470–479. [In Russ].

7. Shalimova A.V., Filin A.E., Davydenko A.A. Analysis of evaluation results of occupational health, industrial and environmental safety management systems at enterprises of mining and smelting complex. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019*, 2020, 1, pp. 100–105. <https://doi.org/10.1201/9781003014577>.

8. Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T. Deep excavation in urban areas — defects of surrounding buildings at various stages of construction. MATEC Web Conf. Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20181460201>.

9. Klebanov A.F. Automation and robotization of open pit mining: experience of digital transformation. *Russian Mining Industry*. 2020. no. 1. Pp. 8–11. [In Russ].

10. Skopintseva O.V., Balovtsev S.V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(1):78–89. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.

11. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.

12. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018, no. 8, pp. 77 – 83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83. [In Russ].

13. Ganova S.D., Skopintseva O.V., Isaev O.N. On the issue of studying the composition of hydrocarbon gases of coals and dust to predict their potential hazard. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2019, t. 330, no. 6, pp. 109 – 115. [In Russ].

14. Musina V.R., Golovko I.V., Shermatova S. Type of crossing of coal waste dumps by geodynamical dangerous zones. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6 – 1):233 – 241. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-233-241.

15. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201823901021>.

16. Dolgui A. et al. Data Mining-Based Prediction of Manufacturing Situations // *IFAC-PapersOnLine*. 2018. T. 51. no. 11. Pp. 316 – 321.

17. Bakhtadze N., Suleykin A. Industrial digital ecosystems: Predictive models and architecture development issues. *Annual Reviews in Control*. 2020.

18. Grishin V. Yu., Bulaeva N.M., Kolikov K.S., Batugin A.S., Lubenskaya N.A. Digital technologies for forecasting of geodynamic processes and phenomena combined with mine closure. *Monitoring. Science and technology*. 2020, no. 2 (44), pp. 12 – 18. DOI: 10.25714/MNT.2020.44.002. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Зиновьева Ольга Михайловна*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент, доцент, e-mail: ozinovieva@yandex.ru;

*Кузнецов Денис Сергеевич*<sup>1</sup> – старший преподаватель, e-mail: kuznetsov.ds@misis.ru;

*Меркулова Анна Михайловна*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент, доцент, e-mail: anna-merkulova@yandex.ru;

*Смирнова Наталья Андреевна*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент, доцент, e-mail: natalyaas@bk.ru;

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Zinovieva O.M.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor, e-mail: ozinovieva@yandex.ru;

*Kuznetsov D.S.*<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: kuznetsov.ds@misis.ru;

*Merkulova A.M.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor, e-mail: anna-merkulova@yandex.ru;

*Smirnova N.A.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor, e-mail: natalyaas@bk.ru;

<sup>1</sup> NUST «MISiS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 04.12.2020; получена после рецензии 25.12.2020; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 04.12.2020; received after the review 25.12.2020; accepted for printing 01.02.2021.

