Оригинальная статья / Original Paper

https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-14-19

Концепция построения горнотехнических систем при переходе к роботизированным подземным геотехнологиям

И.И. Айнбиндер, П.Г. Пацкевич ✉
Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация
✉ packevichpg@ipkonran.ru

Резюме: Тенденция развития подземного способа разработки месторождений твердых полезных ископаемых связана с переходом горных работ на большие глубины, а в перспективе – на сверхглубокие горизонты – свыше 2,0 км, где основные сложности ведения горных работ обусловлены высоким горным давлением и повышенной температурой массива горных пород. В этих условиях актуальной задачей развития горного производства является разработка геотехнологий по степени готовности к роботизации и автоматизации основных производственных процессов, а также к цифровизации горных работ, которую предполагает интеллектуальный рудник. В статье сформулированы концепция перехода горнотехнических систем на сверхглубоких горизонтах с использованием роботизированных комплексов и принципы построения новых горнотехнических систем в условиях сверхглубин. Разработанная концепция позволяет определить перспективы развития горных работ за счет широкого внедрения автоматизированных и роботизированных комплексов горного оборудования и цифровизации горного производства. Для решения этой задачи все технологические процессы должны рассматриваться не отдельно, а в совокупности, с учетом их влияния друг на друга: формулировать технические и функциональные требования для каждого элемента технологической системы предприятия, в том числе и в части получения, обработки и передачи информации в интеграционную платформу для дальнейшего использования.

Ключевые слова: горнотехническая система, большие глубины, сверхглубокие горизонты, роботизация, автоматизация, технологические процессы, цифровизация горного производства

Для цитирования: Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г. Концепция построения горнотехнических систем при переходе к роботизированным подземным геотехнологиям. *Горная промышленность.* 2025;(5S):14–19. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-14-19

A concept of designing mining systems in transition to robotic underground geotechnologies

I.I. Aynbinder, P.G. Patskevich ✉
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
✉ packevichpg@ipkonran.ru

Abstract: The trend towards underground mining of solid minerals is linked to the transition of mining operations to greater depths, and, in the future, to ultra-deep levels of over 2.0 km, where the main difficulties of mining operations are caused by high rock pressure and high temperature of the rock mass. In these conditions, the urgent task for the development of mining operations is to design geotechnologies that are ready for robotization and automation of the main production processes, as well as for digitalization of mining activities, which is envisaged by the smart mine concept. The article defines the concept of moving mining systems to super-deep levels using robotic systems as well as the principles for building new mining systems in super-deep conditions. The proposed concept makes it possible to determine the prospects for the development of mining operations through extensive implementation of automated and robotic mining equipment and digitalization of mining processes. In order to achieve this goal, all technological processes must be considered not separately, but in their combination with account of their interaction, i.e. the technical and functional requirements must be formulated for each element of the company's process system, including the acquisition, processing and transfer of information to an integration platform for further utilization.

Keywords: mining system, great depths, ultra-deep levels, robotization, automation, technological processes, digitalization of mining operations

For citation: Aynbinder I.I., Patskevich P.G. A concept of designing mining systems in transition to robotic underground geotechnologies. *Russian Mining Industry.* 2025;(5S):14–19. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-14-19

Введение. Постановка проблемы

Современный период развития горного производства в России характеризуется переходом горных работ на большие глубины, а в перспективе – на сверхглубокие горизонты, где усложнение условий разработки, в первую очередь за счет возрастающего горного давления и роста температуры пород, выдвигает необходимость внедрения автоматизированных и роботизированных технологий подземной добычи руд, позволяющих обеспечить безопасность ведения горных работ и эффективность разработки месторождений [1] [1–5].

Широкому внедрению автоматизации и роботизации горного производства способствует развитие цифровизации и цифровой трансформации, характеризующейся переплетением создаваемых горнотехнических систем с передовыми информационными и коммуникационными технологиями [2] [6].

В связи с этим актуальной задачей современного развития горного производства является разработка геотехнологий по принципу готовности к полной автоматизации и роботизации, учитывающей взаимосвязь технологических процессов горного производства с возможностями техники, оборудованной соответствующими датчиками для передачи информации по защищенной коммуникационной сети для управления процессами, а также для технологий цифровизации, таких как расширенная аналитика, моделирование и визуализация, цифровые двойники.

Цифровизация в горной промышленности по своей сути включает в себя цифровое описание интеллектуального рудника, подключенного к цифровым технологиям, в котором действующие системы способны снижать постоянно растущую сложность для принятия управленческих решений в режиме реального времени.

Следует отметить, что в настоящее время разработанные цифровые технологии для горнодобывающей промышленности все еще находятся на ранних стадиях развития цифровизации геотехнологических процессов и отстают от других отраслей, таких как: нефтяная, автомобильная, химическая и др. В то же время из-за сложных условий работы горнодобывающих предприятий цифровые технологии и роботизированные комплексы должны быть адаптированы непосредственно для условий разработки месторождений.

В настоящее время стратегической задачей является автоматизация производства на основе роботизированных систем управления основными операциями проходки выработок и очистной добычи руды: буровзрывными работами, погрузкой и доставкой горной массы, транспортировкой пород, креплением горных выработок и т.д.

На передовых предприятиях горной отрасли производственными процессами с высоким достигнутым уровнем автоматизации и роботизации являются: бурение взрывных скважин и шпуров; заряжание взрывных скважин и шпуров; погрузка и доставка горной массы; подземный автотранспорт; проходческие добычные комбайны; подъем горной массы; вентиляция; водоотлив.

Рассмотрим особенности цифровизации на основных геотехнологических процессах.

Бурение скважин и шпуров

В настоящее время на процессах бурения достигнута наибольшая степень автоматизации. Она представляет собой компьютерную систему управления буровой установкой, которая включает бортовой компьютер, шины, цепь соединений кабелей манипуляторов, дисплей, интерактивную панель управления и программное обеспечение.

Стандартный уровень автоматизации предусматривает компьютерное управление движением манипуляторов и податчиков, обеспечивая точное перемещение и управление усилием подачи и защиты от заклинивания.

Для обеспечения заданных параметров бурения на установке должна быть размещена программа, регулирующая: автоматическое забуривание шпура или скважины; замену штанг; автоматическую замену буровых коронок; указатель угла и глубины скважины с регистрацией параметров. Бурение должно производиться в соответствии с запрограммированным паспортом.

Дополнительно могут устанавливаться системы, определяющие прочность породы, зоны трещиноватости массива, модули измерения текущих параметров бурения (скорость бурения, давление в буровом молотке, скорость вращения, давление). Такие комплексы широко используются компаниями Atlas Copco, Sandvik и др. и позволяют управлять процессами бурения непосредственно из офиса компаний посредством спутникового интернет-канала.

Использование роботизированных комплексов позволяет увеличить производительность бурения (25%), снизить эксплуатационные затраты (50%), повысить коэффициент использования оборудования. Важно отметить, что при переходе на сверхбольшие глубины существенного изменения оборудования и технологий для бурения шпуров и скважин не произойдет.

Заряжание и взрывание скважин и шпуров

При производстве взрывных работ наибольшее распространение получили эмульсионные ВВ, которые изготавливают непосредственно на предприятиях и применяют при пневмозаряжании шпуров и скважин.

В России наибольшее распространение получили комплексы компаний PAUS (Германия), Normet (Финляндия), Analonder (США), Dyno Nobel (Швеция). Они характеризуются широким диапазоном производительности. Самоходные зарядные машины дополнительно снабжены податчиками зарядного шланга.

С целью автоматизации процессы зарядки шпуров и скважин компьютеризированы и позволяют автоматически производить смешивание ВВ, что позволяет обеспечить водоустойчивость эмульсионного типа ВВ, используя один тип ВВ, например, все установки Titan SSE Dyno Nobel. Установки снабжены автоматической системой аварийного отключения энергопитания. Такие установки широко применяются на комбинате Апатит, на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» и др.

Принципиальное отличие в условиях ведения взрывных работ на сверхбольших глубинах будет заключаться в увеличении температуры горных пород и рудничной атмосферы. Роботизация процесса заряжания и взрывания представляется наиболее перспективным решением вопроса обеспечения безопасности и эффективности взрывных работ. Два ключевых вопроса, которые требуют особого внимания, это обеспечение стойкости ВВ к высоким температурам массива, а также создание программируемых беспроводных электронных средств взрывания.

---

1 About the Global Mining Guidelinesoup. Available at: https://gmggroup.org/about/ (accessed: 29.04.2025); Robotized Inspaction. Available at: https://nexgensims.eu/robotized-inspection/ (accessed: 29.04.2025).

2 Behind the Mining Productivity Upswing: Technology-enabled Transformation. McKinsey & Company, 2018. Available at: https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/behind-the-mining-productivity-upswing-technology-enabled-transformation (accessed: 29.04.2025).

Погрузка и доставка рудной массы самоходными машинами

В настоящее время на погрузке и доставке руды применяются комплексы высокопроизводительного оборудования – погрузочно-доставочные машины (ПДМ) с ёмкостью ковша от 2 до 17 $м^3$ и самосвалы для доставки руды грузоподъемностью 40–50 т.

Роботизация данного оборудования достигается установкой на машины дополнительного оборудования, включая установленные на борту машины лазерные сканеры, которые во время движения сканируют поверхность выработки и позволяют определить местоположение транспортного средства.

Необходимым условием применения роботизированных машин является расположение по контуру выработок оптико-волоконного кабеля или беспроводных систем, которые используются для передачи данных через локальную компьютерную сеть.

При этом конструкция системы разработки должна предусматривать преимущественно прямолинейные участки трассы движения машин с минимальным количеством поворотов.

Набольшую сложность при перемещении рудной массы представляет операция зачерпывания руды, которая осуществляется при помощи системы видеонаблюдения оператором дистанционно.

Ряд зарубежных фирм Atlas Copco, Sandvik, Caterpillar разработали системы автоматизированного управления ПДМ. Обычно участок рудника с применением автоматизированных ПДМ отделен от других выработок и нахождение в них горнорабочих особо контролируется. Для успешного применения роботизированных комплексов компании разрабатывают специальные программы для различных операций. Например, компания Atlas Copco применяет следующие программы автоматизации ПДМ: дистанционное радиоуправление в пределах прямой видимости; дистанционное радиоуправление с видеонаблюдением; систему автоматического управления зачерпыванием; систему наблюдения для мониторинга ПДМ из управляющего центра; бортовую видеосистему; систему обнаружения персонала.

На рудниках норильского региона, комбината Апатиты и др. широко применяются системы дистанционного управления ПДМ, в основном для погрузки руды, и установлены оптико-волоконные кабели, используемые для системы позиционирования работников.

С точки зрения перехода на сверхбольшие глубины приоритетным требованием является отказ от дизельных машин и замена их электрическими или аккумуляторными машинами, что позволит улучшить тепловой и вентиляционный режимы рудников. Следует отметить, что тенденция к электрификации подземных рудников сейчас является одним из приоритетных направлений в мире. В ближайшие годы планируется ввод в эксплуатацию нескольких полностью электрифицированных рудников.

Вопросы автоматизации и роботизации процессов крепления горных выработок, закладки выработанного пространства, подъема горной массы и вентиляции горных выработок широко освещены в литературе [7–9].

Системы разработки

В большинстве случаев развитие горных работ на подземных рудниках осуществляют в нисходящем порядке с постепенным увеличением глубины горных работ, что позволяет плавно адаптировать геотехнологии к изменяющимся условиям как за счет совершенствования конструкции, так и за счет изменения параметров горнотехнических систем. Также сокращается количество применяемых классов систем разработки, практически ограничиваясь системами с закладкой выработанного пространства и в ряде случаев – системами с обрушением руд и пород.

По мере возрастания глубины, помимо осложнений, обусловленных ростом горного давления, не менее значимо проявляются такие факторы, как увеличение температуры пород, а затем и технические проблемы в создании энергетической и транспортной инфраструктуры, рост расходов на перемещение горной массы, людей и различных материалов. Ключевые проблемы геотехнологии при переходе на сверхглубокие горизонты сведены в табл. 1.

Преодоление указанных сложностей базируется на комплексной модернизации процессов добычи руды, осуществляемой как за счет совершенствования существующих, так и внедрения современных технологических процессов, а также новых способов их сочетания.

Интенсивное развитие информационных технологий, искусственного интеллекта, средств автоматизации и роботизации в настоящее время является наиболее значимым фактором развития технологий подземной разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Можно привести ряд примеров, иллюстрирующих основные тенденции в развитии геотехнологии разработки глубоких месторождений.

Применение для проведения выработок комбайнов, сочетающих функции отбойки, доставки и крепления массива горных пород, приводит к возрастанию доли механического способа проходки горных выработок. Помимо упрощения технологического цикла, это обеспечивает большую устойчивость и меньшее аэродинамическое сопротивление горных пород.

Постепенный отказ от дизельного оборудования и переход на электрическое или аккумуляторное оборудование (LKAB, Boliden и др.) позволяет сократить тепловую эмиссию от оборудования и снизить объем потребляемого воздуха.

Все большее распространение получают технологии подземного управления качеством сырья и внутрирудничной сепарации, позволяющие в отдельных случаях сокращать объем выдаваемого на поверхность предконцентрата в 2–3 раза (по данным компаний, производящих оборудование для сепарации, – Tomra, Outotec, Gekko Python).

Увеличивается доля систем разработки с закладкой выработанного пространства, преимущественно камерных, так как они легко адаптируются под высокопроизводительное роботизированное или дистанционно управляемое оборудование. В качестве закладочной смеси часто используют пастообразные хвосты обогащения.

Развиваются системы рекуперации тепловой энергии из отработанного шахтного воздуха (например, на руднике Pyhäsalmi), которую затем используют для обогрева производственных зданий и подогрева подаваемого в рудник воздуха. Также сокращение затрат на вентиляцию достигается за счет использования технологии «вентиляция по требованию», которая внедрена на шахте «Глубокая» рудника «Скалистый» (Норникель).

В качестве практического примера реализации такого подхода можно привести разработанную в ИПКОН РАН технологию освоения глубоких залежей разносортных комплексных руд Талнахско-Октябрьского месторождения, где проявляются указанные выше осложняющие факторы [10–12].

Таблица 1
Ключевые проблемы геотехнологии разработки на сверхглубоких горизонтах

Table 1
Key challenges in designing geotechnologies for ultra-deep levels

Ключевая проблема	Ограничения традиционных геотехнологий	Перспективные пути преодоления ограничений
Геомеханические риски	Предотвращение горных ударов базируется на методах разгрузки массива, создания защищенных зон, отстаивании выработок. Проблема интенсивной конвергенции в условиях пластических и вязких пород практически не решена	Изучение закономерностей НДС на больших глубинах, развитие методов искусственного воздействия на массив с целью обеспечения заданных геомеханических характеристик
Технологии проведения выработок	При доминирующей технологии со взрывной отбойкой требуется присутствие людей в забое для выполнения ряда основных и вспомогательных технологических процессов	Переход на полностью роботизированную технологию с механическим способом отбойки
Технологии поддержания выработок	Низкая коррозионная устойчивость, значительные материалоемкость и трудоемкость работ по возведению крепи	Создание новых видов крепей с малой материалоемкостью, реализующих концепцию «крепь–массив», переход на механическую отбойку, оптимизация сечения выработок
Закладочные работы	Максимально достигнутая глубина транспортирования закладочных смесей с поверхности составляет 2,5 км	Приготовление закладочных смесей вблизи места размещения преимущественно из геоматериалов
Подъем и транспорт	Высота одностадийного подъема достигла 2,5 км, дальнейшее увеличение маловероятно	Резкое снижение объема транспортируемых грузов за счет частичного либо полного переноса процесса обогащения под землю
Вентиляция	На глубинах 2–2,5 км вентиляция и кондиционирование становятся главной составляющей затрат	Удаление людей из зоны высоких температур, вентиляция по требованию
Условия работы персонала	Комфортные условия возможно обеспечить до глубин 3–3,5 км. Большие затраты времени на перемещение к рабочему месту и обратно, которые занимают 40–50% общего времени	Переход на роботизированное оборудование: либо полностью автономное, либо управляемое с поверхности

Перспективы развития подземных горных работ связаны с переходом на сверхглубокие (более 2 км) горизонты, где основными факторами, определяющими конструктивное оформление системы разработки, являются геомеханические и геотермические.

Основное направление развития технологии отработки месторождений ценных руд на больших глубинах связано с применением систем разработки со сплошной выемкой руды с закладкой и внедрением интеллектуальных геотехнологий.

Разработанная технология позволяет создать замкнутый цикл горного производства, обеспечивающий рост интенсивности выемки и производительности труда за счет использования передовых методов ведения горных работ, полной автоматизации и роботизации производства, повышения безопасности горных работ.

При этом перенос процессов рудоподготовки и обогащения под землю с утилизацией отходов производства в закладочный материал позволит резко повысить экологическую безопасность горного производства, что в современных условиях и в будущем становится важнейшим фактором обеспечения эффективного и устойчивого развития предприятия.

Проведенные исследования позволили сформулировать концепцию перехода горнотехнических систем на сверхглубоких горизонтах к использованию роботизированных комплексов, которая состоит в создании инновационных технологий, в которых влияние негативных факторов (высокое напряженное состояние массива и большая температура пород) нейтрализуется применением специальных методов ведения горных работ, при которых обеспечивается их безопасность и эффективность разработки месторождений полезных ископаемых за счет преимущественно замкнутого цикла горного производства.

Отсюда вытекают принципы построения новых горнотехнических систем на сверхглубоких горизонтах рудников:

1. Соответствие инновационной геотехнологии горно-геологическим, геомеханическим и геотермическим условиям разработки месторождений полезных ископаемых, позволяющее максимально эффективно использовать преимущество роботизированных и дистанционно управляемых технологических процессов горного производства.
2. Обеспечение соответствия действующих в массиве горных напряжений способности горнотехнических конструкций противостоять нагрузкам путем выбора рационального направления выемки, порядка и последовательности отработки запасов, воздействия на зону концентрации напряжений, в том числе приданием искусственной податливости массиву.
3. Преобразование сил горного давления в благоприятный фактор при производстве процессов бурения и отбойки горных пород за счет выбора оптимальных параметров бурения скважин и шпуров.
4. Создание комфортных условий труда непосредственно в зонах ведения горных работ с максимально возможным использованием механизации и роботизации вспомогательных операций с нахождением горнорабочих в кабинах горных машин.
5. Создание замкнутого цикла горного производства за счет создания горнотехнических систем, позволяющих использовать пустые породы в качестве закладки выработанного пространства.
6. Система управления горными работами на сверхглубоких горизонтах рудников должна создаваться как самоорганизующаяся система, способная определять и регулировать горнотехнические системы и процессы добычи руды.

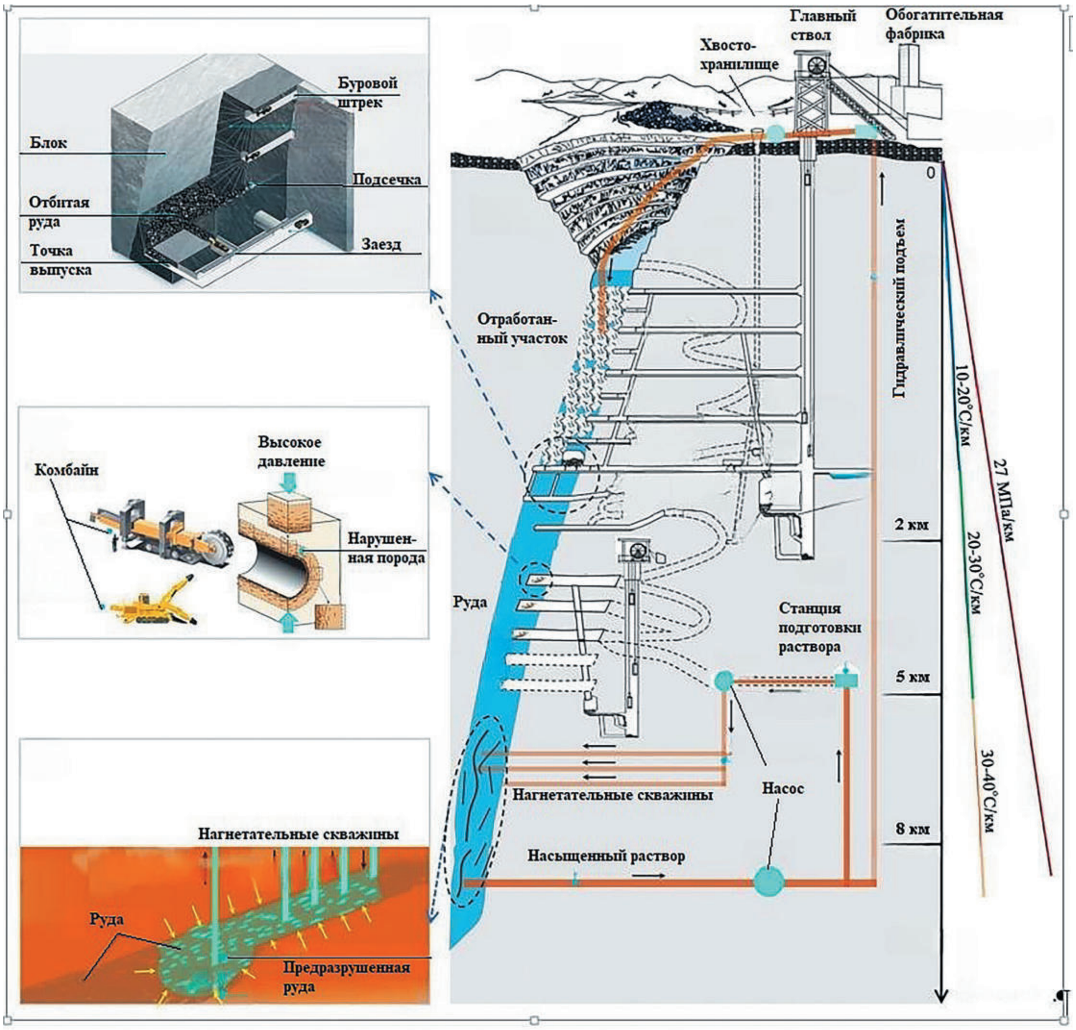

Рис. 1
Трансформация геотехнологии с увеличением глубины добычи
Источник: [5; 11]

Fig. 1
Transformation of geotechnologies with increasing mining depth
Source: [5; 11]

Разработанные принципы позволяют расширить область применения традиционной физико-технической подземной геотехнологии. Тем не менее ее границы все-таки существуют и будут определяться для каждого конкретного месторождения той глубиной, при которой поддержание устойчивости выработок станет либо невозможным, либо экономически неоправданным (рис. 1). Ориентировочно в благоприятных условиях в крепких скальных породах предельная глубина для традиционных геотехнологий будет ограничена величиной от 3 до 5 км.

На рис. 1 схематично представлен вариант трансформации геотехнологий с увеличением глубины разработки для условий крутопадающих рудных месторождений, где до глубины порядка 500–700 м отработка залежей ведется открытым способом, а затем до глубины 1000–1200 м возможно использовать системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород и с закладкой выработанного пространства. Последние рекомендуются и для освоения сверхглубоких горизонтов – до 3–5 км. При этом на всех этапах освоения месторождений на сверхглубинах в полной мере должны использоваться технологии, основанные на роботизации и автоматизации основных производственных процессов производства.

На глубинах более 5 км, где факторы горного давления и температуры пород являются критическими, необходимо применять нетрадиционные способы выемки, включая принудительное разрушение массива без доступа горнорабочих в опасные зоны, а также применение методов скважинного выщелачивания.

Заключение

Разработанные концепция и принципы построения геотехнологий освоения месторождений на сверхглубоких горизонтах позволяют определить перспективы развития горных работ за счет широкого внедрения автоматизированных и роботизированных комплексов горного оборудования и цифровизации горного производства.

Для решения этой задачи необходимо сформулировать не только технические, но и функциональные требования для каждого элемента технологической системы предприятия, в том числе и в части получения, обработки и передачи информации в интеграционную платформу для дальнейшего использования. То есть все технологические процессы должны рассматриваться не отдельно, а в совокупности, с учетом их влияния друг на друга.

Полностью автоматизированные и роботизированные рудники должны представлять собой высокотехнологичные системы, которые должны обладать рядом специфических особенностей для обеспечения эффективности, безопасности и устойчивости функционирования, соответствующему ряду ключевых характеристик, включая применение: автономных систем управления; роботизированного и автоматизированного оборудования; сенсорных и мониторинговых технологий; энергетической автономности; единой сети связи и передачи данных; системы мониторинга и безопасности; системы утилизации отходов и рекультивации; обеспечение гибкости и масштабируемости; интеграции с внешними системами.

Список литературы / References

1. Айнбиндер И.И., Галченко Ю.П., Овчаренко О.В., Пацкевич П.Г. Основные направления развития геотехнологий подземной разработки рудных месторождений на больших глубинах. *Горный журнал*. 2017;(11):65–71. https://doi.org/10.17580/gzh.2017.11.12
Aynbinder I.I., Galchenko Yu.P., Ovcharenko O.V., Patskevich P.G. Basic trends of advance in geotechnologies for deep-level ore mining. *Gornyi Zhurnal*. 2017;(11):65–71. (In Russ.) https://doi.org/10.17580/gzh.2017.11.12
2. Антипин Ю.Г., Смирнов А.А., Никитин И.В. Прогноз развития подземной геотехнологии при освоении глубокозалегающих рудных месторождений на период до 2030 года. *Проблемы недропользования*. 2021;(4):74–86. https://doi.org/10.25635/2313-1586.2021.04.074
Antipin Yu.G., Smirnov A.A., Nikitin I.V. Estimates of development of underground geotechnology at the mining deep-lying ore deposits for the period up to 2030. *Problems of Subsoil Use*. 2021;(4):74–86. https://doi.org/10.25635/2313-1586.2021.04.074
3. Li J.-G., Zhan K. Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment. *Engineering*. 2018;4(3):381–391. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.013
4. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. *Разработка руд на больших глубинах*. М.: Недра; 1982. 292 с.
5. Clausen E., Sörensen A., Uth F., Mitra R., Lehnen F., Schwarze B. *Assessment of the Effects of Global Digitalization Trends on Sustainability in Mining Part II: Evaluation of Digitalization Trends and their Effects on Sustainability in the Global Mining Sector*. Aachen, 2020. 80 p.
6. Рыльникова М.В., Струков К.И., Радченко Д.Н., Есина Е.Н. Цифровая трансформация – условие и основа устойчивого развития горнотехнических систем. *Горная промышленность*. 2021;(3):74–78. https://doi.org/10.30686/1609-91922021-3-74-78
Rylnikova M.V., Strukov K.I., Radchenko D.N., Esina E.N. Digital Transformation: a Prerequisite and Foundation for Sustainable Development of Mining Operations. *Russian Mining Industry*. 2021;(3):74–78. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-91922021-3-74-78
7. Мельников Н.Н. (ред.) *Мировой опыт автоматизации горных работ на подземных рудниках*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2007. 97 с.
8. Diering D.H. Ultra-deep level mining – future requirements. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 1997;97(6):249–255. Available at: https://hdl.handle.net/10520/AJA0038223X_2438 (accessed: 29.04.2025).
9. Sheshpari M. A review of underground mine backfilling methods with emphasis on cemented paste backfill. Electronic *Journal of Geotechnical Engineering*. 2015;20(13):5183–5208.
10. Пацкевич П.Г., Айнбиндер И.И. Перспективы разработки рудных месторождений на сверхглубоких горизонтах. *Горный журнал*. 2024;(11):69–75. https://doi.org/10.17580/gzh.2024.11.11
Patskevich P.G., Aynbinder I.I. Prospects for ultra-deep ore mining. *Gornyi Zhurnal*. 2024;(11):69–75. (In Russ.) https://doi.org/10.17580/gzh.2024.11.11
11. Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Овчаренко О.В. Перспективы развития геотехнологий подземной добычи руд на глубоких рудниках Талнахского и Октябрьского месторождений. *Горная промышленность*. 2021;(5):70–75. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-5-70-75
Aynbinder I.I., Patskevich P.G., Ovcharenko O.V. Prospects for the development of underground ore mining geotechnologies at the Talnakh and Oktyabrskoye deep mines. *Russian Mining Industry*. 2021;(5):70– 75. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-5-70-75
12. Айнбиндер И.И., Овчаренко О.В., Пацкевич П.Г. Обоснование технологии совместной разработки богатых и вкрапленных руд на сверхглубоких горизонтах рудников Норильского района. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;(4):364–375.
Einbinder I.I., Ovcharenko O.V., Patskevich P.G. Justification of the technology of joint development of rich and interspersed ores in the ultra-deep levels of the Norilsk mines. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2023;(4):364–375. (In Russ.)

Информация об авторах

Айнбиндер Игорь Израилевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геотехнологии комплексного освоения месторождений полезных ископаемых, Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН, г. Москва, Российская Федерация

Пацкевич Петр Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией геотехнологии комплексного освоения месторождений полезных ископаемых, Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: packevichpg@ipkonran.ru

Information about the authors

Igor I. Aynbinder – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Research Associate, Laboratory of Geotechnologies for Integrated Development of Mineral Deposits, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; https://orcid.org/0000-0003-1053-1166

Petr G. Patskevich – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Geotechnologies for Integrated Development of Mineral Deposits, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: packevichpg@ipkonran.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.08.2025
Поступила после рецензирования: 06.10.2025
Принята к публикации: 07.10.2025

Article info

Received: 23.08.2025
Revised: 06.10.2025
Accepted: 07.10.2025