

УДК 622.271.3.06:004.896

Трубецкой Климент Николаевич
академик РАН,
главный научный сотрудник,
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН,
Москва, Крюковский туп., д. 4

Рыльникова Марина Владимировна
доктор технических наук, профессор,
заведующий отделом теории проектирования
освоения недр,
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН
e-mail: rylnikova@mail.ru

Владимиров Дмитрий Ярославич
кандидат технических наук,
генеральный директор,
АО «ВИСТ Групп»,
Москва, Ленинский проспект, д. 15А

ОТ СИСТЕМЫ «КАРЬЕР» К НОВОМУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ УКЛАДУ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ*

Аннотация:

Переход к новому интеллектуальному укладу, ориентированному на интеллектуальные технологии, работающие в автономном интеллектуальном режиме, является перспективным направлением компенсации влияния негативных факторов на эффективность и комплексность освоения недр открытыми геотехнологиями. Выполненное сравнение механизированной, автоматизированной и роботизированной горнотехнических систем на карьерах показало, что основным преимуществом роботизированной системы является вывод непосредственных операционных исполнителей из зоны ведения горных работ, что минимизирует влияние человеческого фактора на показатели технологических процессов, способствует росту производительности и обеспечению условий безопасности труда на карьерах. Роботизированная горнотехническая система не предусматривает присутствие горных рабочих непосредственно в забое, что позволяет организовать процессы добычи с требуемой интенсивностью и безопасностью работ. К данной системе предъявляются особые требования по бесперебойной работе оборудования и надежности информационного обеспечения. Применение роботизированной интеллектуальной горнотехнической системы оказывает существенное влияние не только на производственные процессы, но и на конструктивные параметры горнотехнических систем и технологические параметры ведения горных работ. При проектировании роботизированной горнотехнической системы под новые участки месторождения или новые месторождения в

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.03.039

Trubetskoy Kliment N.
Academician of RAS, Chief Researcher,
Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources RAS,
Moscow, 4 Kryukovsky tupik

Rylnikova Marina V.
Doctor of Engineering, Professor,
Head of the Department of theory
of design development of mineral resources,
Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources RAS
e-mail: rylnikova@mail.ru

Vladimirov Dmitriy Ya.
Candidate of Technical Sciences,
General Director,
AO «VIST Group»,
Moscow, 15A Leninsky Prospekt

FROM THE SYSTEM «PIT» TO THE NEW INTELLECTUAL STRUCTURE OF OPEN CAST MINING

Abstract:

The transition to a new intellectual way, focused on intellectual technologies, working in an autonomous intellectual mode, is a promising direction to compensate for the impact of negative factors on the efficiency and complexity in subsoil development by open geotechnologies. The carried out comparison of mechanized, automated and robotic mining systems at the quarries have showed that the main advantage of the robotic system is the withdrawal of direct operating performers from the mining zone, it minimizes the influence of human factor on the performance of technological processes, contributes to the growth of productivity and ensure safety conditions of working at the quarries. Robotic mining system does not provide for the presence of mining workers directly in the forehead, it allows us to organize the production processes with the required intensity and safety. This system has special requirements for the smooth operation of the equipment and the reliability of information support. The use of robotic intelligence mining system has a significant influence not only on the production processes, but also on the construction parameters of mining systems and technological parameters of mining. When designing a robotic mining system for new areas of a field or for new fields, we should develop a new opening scheme in accordance with the special requirements, which could prevent of the intersection of mechanized and intelligent equipment. When designing a mining system, safety conditions determine largely the parameters of mining operations. Optimization of parameters of mining operations will provide a comprehensive efficiency, based on ensuring the safety of production, will effectively

* Работа выполнена при поддержке ББФ ИПКОН РАН, тема 0138-2014-0001.

соответствии с особыми требованиями должна быть спроектирована новая схема вскрытия, исключая пересечения механизированной и интеллектуальной техники. При проектировании системы разработки параметры горных работ в большей степени определяются условиями безопасности. Оптимизация параметров ведения горных работ обеспечит комплексную эффективность, основанную на обеспечении безопасности производства, позволит эффективно вовлечь в освоение труднодоступные запасы полезных ископаемых в условиях изменяющейся природно-ресурсной базы.

Ключевые слова: горнотехническая система, геотехнология, интеллектуальные технологии, роботизация, эффективность, безопасность, параметры

involve in the development hard-to-reach reserves of minerals in a changing natural resource base.

Keywords: mining system, geotechnology, intelligent technology, robotics, efficiency, safety, parameters

Введение

Интенсивная разработка месторождений полезных ископаемых, добыча их в труднодоступных регионах с дефицитом кадровых ресурсов, ужесточение норм и требований промышленной и экологической безопасности, снижение качества добываемого сырья и, как следствие, изменение природно-ресурсной базы в целом неизбежно влекут усложнение горно-геологических, горнотехнических, природно-климатических и социально-экономических условий освоения недр [1 – 2]. Перспективным направлением компенсации влияния негативных факторов на эффективность и комплексность освоения недр открытыми геотехнологиями в условиях изменяющейся природно-ресурсной базы становится переход к новому интеллектуальному укладу, ориентированному на интеллектуальные технологии, работающие на автономном программном управлении в заданном режиме без участия человека в операционных процессах. Это вызывает необходимость формирования новых подходов к оценке и технологиям вовлечения в освоение запасов полезных ископаемых и накопленного техногенного сырья на новой интеллектуальной основе [3 – 8].

В настоящее время открытый способ освоения месторождений полезных ископаемых является приоритетным в горнодобывающей промышленности России [9]. Количественные показатели открытой разработки и ее эффективность зависят от применения информационных систем добычи полезных ископаемых с использованием роботизированной техники.

Дальнейшее повышение эффективности открытой разработки месторождений зависит не только и не столько от применения новых модификаций мощного высокопроизводительного оборудования, систем диспетчеризации и автоматизации управления горно-транспортными комплексами, но и от ускоренного создания и широкого внедрения уникальной интеллектуальной карьерной техники, обеспечивающей частичную или полную работу горно-транспортного оборудования без присутствия водителей и операторов в опасной зоне ведения горных работ. При этом управление горнотранспортным комплексом осуществляется как минимум в дистанционном режиме, либо, и это предпочтительно, — полностью в автономном интеллектуальном режиме с «нулевым вводом» персонала в зону ведения горных работ.

Переход открытых горных работ к новому интеллектуальному укладу

Переход открытых горных работ к новому интеллектуальному укладу, по сути, не имеет альтернативы. Перспективы развития открытой геотехнологии на современном этапе направлены на

- совершенствование техники и технологий открытой добычи твердых полезных ископаемых, соответствующих современному уровню мировой горной науки и производства;
- снижение рисков эксплуатации и обеспечение промышленной и экологической безопасности горных работ;
- повышение организационно-технологического уровня производства с оснащением кадрового персонала высококвалифицированными специалистами с целью роста производительности труда, повышения эффективности и интенсивности горных работ;
- разработку и утверждение норм технологического проектирования горных предприятий с открытым способом добычи полезных ископаемых, соответствующих современным знаниям о техногенном изменении недр Земли и требованиям комплексного освоения и сохранения;
- масштабное развитие систем спутниковой навигации и диспетчеризации для централизованного автоматического и дистанционного управления горными работами с оптимизацией параметров минерально-сырьевых потоков в соответствии с концепцией «Интеллектуальный карьер»;
- активное использование выработанных пространств карьеров в качестве многофункционального геотехнологического ресурса;
- многократное повышение энергоэффективности открытых горных работ за счет реализации технологий энергоспроизводства и энергосбережения;
- создание экологически сбалансированных горнотехнических систем, обеспечивающих эффективное освоение горнопромышленных территорий без нарушения экологического баланса природной среды.

Следует отметить, что система «Карьер», в свое время разработанная российской компанией «ВИСТ Групп» при научно-методическом сопровождении работ ИПКОН РАН, основанная на автономном управлении производством и получившая широкое применение на отечественных и зарубежных горных предприятиях с открытым способом добычи, является базой для формирования интеллектуального уклада открытых горных работ [10 – 12]. Эта система успешно внедрена и применяется на 26 крупнейших железорудных, угольных, золотодобывающих компаниях, предприятиях по добыче цветных металлов России, Казахстана, Монголии и Украины.

Создание на базе системы «Карьер» проекта «Интеллектуальный карьер», предусматривающего использование роботизированной техники с автоматическим движением автосамосвалов в программируемом режиме, обеспечивает работу горно-транспортного оборудования без участия водителей или операторов [12].

Этапами развития и внедрения системы «Интеллектуальный карьер» являются:

- роботизированная перевозка автосамосвалами горной массы по фиксированному маршруту между стационарными пунктами погрузки – разгрузки в автоматическом программируемом режиме;
- роботизированная перевозка в автономном режиме автосамосвалами горной массы между роботизированными экскаваторами и пунктами разгрузки с оснащением их техникой с дистанционным управлением;
- роботизированная перевозка автосамосвалами горной массы с использованием дистанционно управляемой техники;
- роботизированная перевозка самосвалами горной массы в соответствии с разработанным программным обеспечением без участия оператора.

Развитие технологий управления открытыми горными работами должно идти по направлению комплексной интеграции различных информационных систем горного предприятия всех уровней — систем автоматизированного управления технологиче-

скими процессами горных работ, автоматическим управлением горнотранспортными перевозками, геологическими и маркшейдерскими работами, ремонтными и иными вспомогательными процессами; автоматизированного планирования и управления производством (системы управления персоналом, бухгалтерией, складами, запчастями и пр.) [10].

Сравнение механизированной, автоматизированной и роботизированной горнотехнических систем на карьерах (рис. 1) свидетельствует, что основным признаком и, соответственно, преимуществом роботизированной системы является вывод непосредственных операционных исполнителей из зоны ведения горных работ, что минимизирует влияние человеческого фактора на показатели технологических процессов, способствует росту производительности и обеспечению условий безопасности труда на карьерах.

В проекте «Интеллектуальный карьер», предполагающем использование автономной роботизированной горно-транспортной техники, создание корпоративной системы управления предприятием на основе единой распределенной базы данных и возможности управления персоналом, технологическими процессами и оборудованием из единого удаленного диспетчерского центра, предусматривается оперативное отслеживание процессов формирования и перемещения рудопотоков, контроль и управление качеством продукции на всем пути технологической схемы — от забоев до пунктов отгрузки конечному потребителю.

Безусловно, это является более высоким уровнем управления, по сравнению с механизированной и автоматизированной горнотехническими системами, в которых принятие управленческих решений и управление технологическим процессом выполняется персоналом в соответствии с заданием руководства. Сбор, анализ и обработка информационных потоков выполняется диспетчерским аппаратом. Выполнение процесса добычи осуществляется горными рабочими в соответствии с принятыми управленческими решениями. Поскольку персонал в данной системе является основным звеном, то вероятность ошибки с последующими последствиями высока.

При применении роботизированной горнотехнической системы функции сбора, обработки и анализа информационных потоков выполняет сама система на основании данных, поступающих с соответствующих датчиков, расположенных на мобильных объектах. В данном случае роль персонала в системе сведена к выбору оптимального решения, представляемого системой. Влияние человеческого фактора на выполнение операционных процессов добычи полезных ископаемых уменьшено по сравнению с механизированной горнотехнической системой, но повышается значение интеллектуальных функций человека в управлении горнотехническими системами.

Учитывая, что роботизированная горнотехническая система не предусматривает присутствие горных рабочих непосредственно в забое, при разработке месторождений в сложных геологических, горнотехнических и природно-климатических условиях она позволяет организовать процессы добычи с требуемой интенсивностью и безопасностью работ. К данной системе предъявляются особые требования по бесперебойной работе оборудования и надежности информационного обеспечения. За персоналом сохраняются функции контроля по выполнению операций технологических процессов и оперативного управления ими, создания и совершенствования программного обеспечения, что повышает интеллектуальный уровень влияния персонала на развитие горных работ и исключает риск травмирования людей.

Основными критериями, по которым определяется целесообразность применения той или иной системы управления горнотранспортными комплексами, является экономическая эффективность и интенсивность горных работ, полнота использования недр, обеспечение безопасных условий труда в соответствии с нормативной базой, качество добычи полезных ископаемых.

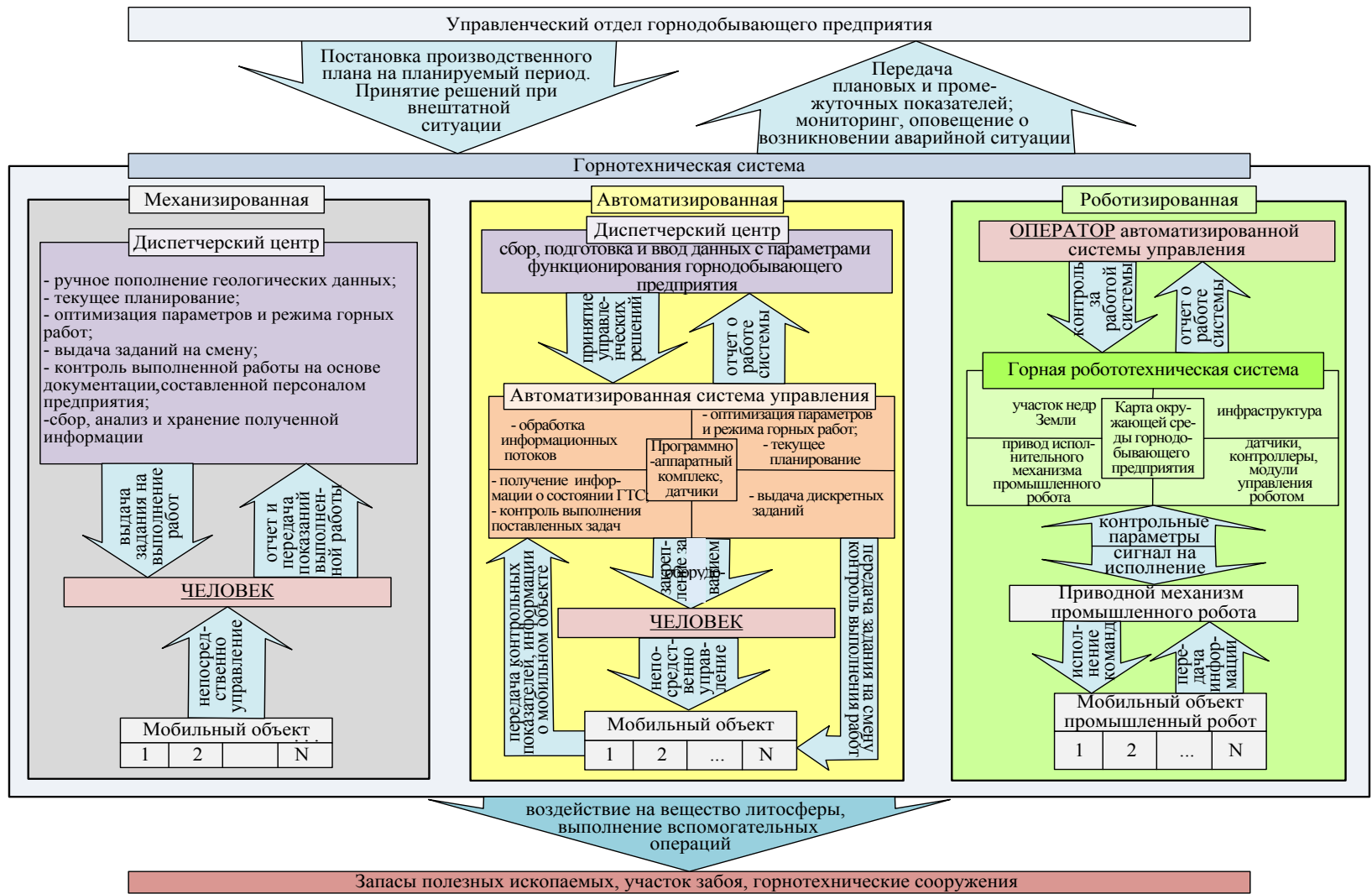


Рис. 1 – Отличительные особенности технологического процесса при применении различных горнотехнических систем

Этим критериям в наибольшей степени удовлетворяет роботизированная геотехнология, работающая в автономном интеллектуальном режиме, поскольку человек остается основным ограничивающим фактором в повышении эффективности управления производственными ресурсами. Именно поэтому перспективным направлением развития открытой геотехнологии в области повышения полноты освоения запасов, безопасности и эффективности горных работ является полное исключение персонала рудника при их осуществлении за счет применения интеллектуального горнотранспортного оборудования, эксплуатируемого в совокупности с автоматизированными системами управления горнодобывающим предприятием. Это позволяет не только минимизировать влияние человеческого фактора, но и существенно изменить количественные значения главных параметров карьера и отдельных элементов системы разработки в интересах повышения экономической эффективности, снижения рисков и обеспечения промышленной и экологической безопасности горного производства.

При этом качественно меняются значения основных конструктивных параметров карьера и отдельных элементов системы разработки и прежде всего высоты и угла откоса рабочих уступов, ширины рабочих площадок, ширины и угла наклона транспортных берм (табл. 1). В силу того что интеллектуальное горнотранспортное оборудование снабжено соответствующими датчиками, контролирующими пространственное положение рабочих органов и самой техники, ширина рабочей площадки определяется исключительно исходя из минимальных габаритов и технических зазоров, обеспечивающих безопасную работу применяемого технологического оборудования. Изменение ширины транспортных берм и повышение их продольного уклона обеспечиваются за счет кругового обзора интеллектуальным оборудованием автосамосвала трассы во время движения, чувствительности датчиков к изменению ее характеристик, отсутствия вероятности ошибки водителя автосамосвала, влияния психологического фактора, связанного с ездой по дороге с крутым уклоном, исключения риска травматизма в связи с отсутствием оператора в опасной зоне ведения горных работ. Все это позволяет качественно сократить длину транспортирования горной массы, количество используемых транспортных средств, повысить производственную мощность горно-транспортного комплекса и способствует увеличению в целом углов откоса бортов карьера в рабочем и предельном состоянии.

С учетом специфики открытых горных работ представлена классификация интеллектуальных горнотехнических систем на открытых горных работах по степени роботизации технологического оборудования (табл. 2) и определены требования к параметрам элементов системы разработки для интеллектуального горнотранспортного оборудования (табл. 3).

Применение интеллектуального горно-транспортного комплекса требует изменения подхода к обоснованию параметров конструктивных элементов горнотехнической системы, что определяется, главным образом, отсутствием персонала в рабочей зоне карьера.

Поскольку интеллектуальная горнотехническая система основана на автоматизированной системе управления в программируемом режиме без участия машиниста, размеры полос безопасности и иных элементов горнотехнических конструкций карьера могут быть изменены за счет пересмотра требований к безопасности ведения горных работ при отсутствии персонала в рабочих зонах карьера.

Таким образом, применение роботизированной интеллектуальной горнотехнической системы оказывает существенное влияние не только на производственные процессы, но и на конструктивные параметры горнотехнических систем и технологические параметры ведения горных работ. Эффективность внедрения интеллектуальной горнотехнической системы по сравнению с механизированной и автоматизированной системами достигается изменением параметров карьерных автодорог, режима и схем движения автосамосвалов-роботов и исключением отдельных элементов, например, предохранительных берм из конструкции транспортных съездов, а также существенным изменением пространственной конфигурации предельных контуров отдельных уступов, бортов и всего карьера в целом.

Таблица 1
Сравнение параметров рабочей зоны карьера при механизированной и роботизированной горнотехнических системах

Сокращение ширины рабочей площадки при тупиковом забое		
<p>$R_ч, R_р$ – соответственно, радиус черпания и разгрузки экскаватора, м; R_a – радиус разворота автосамосвала, м; $Ш_{ПМ}, Ш_{ПП}$ – ширина рабочей площадки при использовании горно-транспортной техники, соответственно, с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м; $\Delta Ш_{ТЗ}$ – изменение ширины рабочей площадки, м; d – величина охраняемого пространства, м; L_a – длина автосамосвала, м</p>		
Сокращение ширины рабочей площадки при торцевом забое		
<p>A – ширина заходки экскаватора, м; c^M, c^P – расстояние от нижней бровки уступа до проезжей части при использовании горно-транспортной техники, соответственно, с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м; $П^M, П^P$ – ширина проезжей части при использовании горно-транспортной техники, соответственно, с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м; z – полоса безопасности, м; Z^M, Z^P – ширина призмы возможного обрушения, при использовании горно-транспортной техники, соответственно, с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м; $\Delta Ш^{БЗ}$ – изменение ширины рабочей площадки, м</p>		
Увеличение продольного уклона съездов		
Уклон автомобильной дороги, %	Управление автосамосвалом	
	Диспетчерское (водитель)	Интеллектуальное (бортовая система)
<i>Условия местности</i>		
- Обычные	30-40	До 240
- Трудные	50-60	
- Особо трудные	80-90	
- Нагорные карьеры, характеризующиеся сложными климатическими условиями	Не более 70	
<i>Покрывание автомобильной дороги</i>		
- Твердое	30-170	До 240
- Грунтовое	30-130	

Таблица 2

Классификация интеллектуальных горнотехнических систем на открытых горных работах по степени роботизации технологического оборудования

Характеристика признака	Применяемое оборудование	Основные функции	Источники информационных потоков
Единичная	Буровые установки, экскаваторы, автосамосвалы, отвальное оборудование	Выполнение отдельных процессов открытых горных работ	GPS-датчики, дистанционная выдача задания оператором горно-транспортного оборудования
Частичная роботизация	Диспетчерский аппарат управления процессами открытых горных работ	Выполнение нескольких процессов открытых горных работ	Аппаратно-программный комплекс диспетчерского центра, контроллеры
Полная роботизация	Комплекс роботизированного оборудования	Выполнение всех процессов открытых горных работ	Навигационные, бортовые и автоматизированные системы управления

Таблица 3

Требования к параметрам элементов системы разработки при использовании механизированной и роботизированной техники

Элементы системы разработки	Требования к параметрам при использовании оборудования	
	механизированного	роботизированного
Высота уступа	При разработке одноковшовыми, многоковшовыми и роторными экскаваторами - к высоте или глубине черпания экскаватора.	Определяется временем стояния уступа и борта карьера, физико-механическими свойствами пород и характеристиками применяемого оборудования.
Угол откоса уступа	При работе одноковшовых и роторных экскаваторов, драглайна – 80°; при работе многоковшовых цепных экскаваторов с нижним черпанием – углу естественного откоса этих пород.	
Ширина рабочей площадки	Определяется в соответствии с ФНП и с учетом норм технологического проектирования; минимальное значение ширины рабочих площадок составляет: в мягких породах 25-30 м, в скальных – 40-60 м.	Определяется в зависимости от габаритных размеров применяемого роботизированного оборудования, точностью систем мониторинга и позиционирования.
Ширина транспортной бермы	Определяется суммой величин ширины кювета, транспортной полосы, полосы безопасности (не менее 1 м), призмы возможного обрушения и резервной бермы безопасности.	Определяется шириной проезжей части и допуска, связанного с точностью систем позиционирования. Из конструкции исключаются элементы безопасности.

Учитывая, что движение по дорогам карьера роботизированных автосамосвалов осуществляется в автоматическом режиме, необходимо обеспечить выполнение более жестких требований к параметрам автодорог и качеству дорожного полотна, уменьшить неровности в вертикальной плоскости автодороги, исключить резкие повороты, сократить количество разминок. Поэтому невозможно внедрение роботизированных горно-транспортных средств в технологическую схему действующего карьера. Необходимо самостоятельное проектирование карьера или его отдельно выделенного участка под роботизированную геотехнологию в соответствии с принятыми критериями. Основными критериями оценки качества дорожного покрытия являются прочность, ровность, твердость, обеспечение требуемого сцепления колес с покрытием дороги. Следует отметить, что наличие роботизированного транспортного оборудования позволяет установить наиболее рациональную скорость движения, которая обеспечивает рост производительности и ритмичности производства.

При проектировании роботизированной горнотехнической системы под новые участки месторождения или новые месторождения в соответствии с особыми требованиями не только к параметрам автополотна, покрытию. Должна быть спроектирована новая схема вскрытия, исключающая пересечения механизированной и интеллектуальной техники. При проектировании системы разработки параметры горных работ в большей степени определяются условиями безопасности. Проектирование интеллектуальной горнотехнической системы подразумевает выполнение горных работ горно-транспортным оборудованием без участия человека. При этом принятие управленческих решений и согласование работы оборудования выполняется в программируемом режиме с использованием автоматизированной системы управления с корректировкой параметров в соответствии с принятыми целевыми функциями.

Принятая система мониторинга состояния массива при внедрении интеллектуальной геотехнологии должна обеспечивать получение и накопление оперативной геологической и геомеханической информации, анализ полученных данных, прогноз возникновения и развития деформаций с принятием мер по своевременному выводу техники из опасной зоны либо полной остановке горных работ. Кроме того, внедрение интеллектуальных горнотехнических систем с интеллектуальным управлением предусматривает иную систему управления предприятием, кадровую подготовку, повышение квалификации и всестороннего развития для формирования долгосрочных конкурентных преимуществ.

Заключение

Проектирование и внедрение горнотехнических систем с интеллектуальным управлением при отсутствии оператора в рабочей зоне позволяет улучшить конструктивные параметры карьера, существенно повысить эффективность функционирования горнодобывающего предприятия в целом. Оптимизация параметров ведения горных работ обеспечит комплексную эффективность, основанную на обеспечении безопасности производства, позволит эффективно вовлечь в освоение труднодоступные запасы полезных ископаемых в условиях изменяющейся природно-ресурсной базы.

Литература

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли // Под ред. академика К.Н. Трубецкого. - М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. - 478 с.
2. Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых / К.Н. Трубецкой. - М.: ИПКОН РАН, 2014. - 196 с.
3. Трубецкой К.Н. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства / К.Н. Трубецкой, С.В. Корнилков, В.Л. Яковлев // Горный журнал. – 2012. - № 1. - С. 15 - 19.

4. Трубецкой К.Н. Перспективы применения роботизированной техники / К.Н. Трубецкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2013». – 2013. - Отдельный выпуск № 1. - С. 354 - 363.
5. Трубецкой К.Н. Принципы обоснования параметров устойчивого и экологически сбалансированного освоения месторождений твердых полезных ископаемых / К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. – 2014. – Вып. 2. – №12. - С. 3 – 10.
6. Яковлев В.Л. Геотехнологические проблемы и особенности ведения горных работ на глубоких карьерах / В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S56. - С. 54 - 66.
7. Корнилков С.В. О методических подходах к прогнозу технологического развития в горнодобывающих отраслях / С.В. Корнилков, В.Л. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № S21. - С. 418 - 434.
8. Трубецкой К.Н. Решение проблем экологически сбалансированного освоения месторождений открытыми геотехнологиями / К.Н. Трубецкой // Горный журнал. – 2018. – № 6. - С. 71 - 76.
9. Трубецкой К.Н. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке / К.Н. Трубецкой, М.В. Рыльникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S1-1. - С. 21 - 32.
10. Современные системы управления горно-транспортными комплексами / Под ред. акад. РАН К.Н.Трубецкого; К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, А.Ф. Клебанов, Д.Я. Владимиров. - СПб.: Наука. – 2007. – 344 с.
11. Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр / М.В. Рыльникова, Д.Я. Владимиров, И.А. Пыталев, Т.М. Попова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 1. – С. 92 - 101.
12. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений / К.Н. Трубецкой, М.В. Рыльникова, Д.Я. Владимиров, И.А. Пыталев // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 60 - 64.