

УДК 622.684:621.865.8

Журавлев Артем Геннадиевич
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: juravlev@igduran.ru

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН***

Аннотация:

Представлен обзор существующих горно-транспортных машин с дистанционным (ДУ) и роботизированным управлением (РУ), даны определения безлюдной технологии и удаленного управления горными машинами и систематизация видов удаленного управления, проведена оценка технологических параметров транспортных машин с роботизированным управлением, выявлены тенденции развития транспортных систем с использованием роботизированных машин.

Ключевые слова: транспортная система карьера, безлюдная технология добычи полезных ископаемых, удаленное управление

Zhuravlev Artem G.
candidate of technical sciences,
The Institute of mining the Ural branch of RAS,
620219, Ekaterinburg city,
Mamina-Sibiryaka st., 58
e-mail: juravlev@igduran.ru

**TENDENCIES OF OPEN PIT TRANSPORT
SYSTEMS PROGRESS EMPLOYING
ROBOTIC MACHINES**

Abstract:

The overview of existing mining and transport machines with remote and robotic control is presented; unmanned technologies and remote management of mining machines, as well as remote control systematization are defined. The assessment of technological parameters of transport vehicles with robotic control is performed. The tendencies of transport systems progress employing robotic machines are brought to light.

Key words: transport system of an open pit, unmanned mining technology, remote control

Примерно с 2000 – 2005 гг. в мировой практике стали выходить на стадию промышленного применения технологии дистанционного и роботизированного управления горнотранспортным оборудованием. Начало подобных проектов приурочено к девяностым годам, когда велись исследования и выпускались опытные образцы. В первую очередь внедрение новых технологий осуществлялось на подземных горных работах ввиду их наибольшей опасности по сравнению с карьерами. К настоящему времени накоплен существенный опыт создания и эксплуатации горнотранспортных комплексов с частично роботизированным управлением, когда наиболее сложные операции выполняются оператором в ручном режиме из пункта удаленного управления, а рутинные операции (например, движение самосвала по траектории к месту разгрузки) осуществляется автоматически. Целый ряд горнодобывающих предприятий как с открытым, так и с подземным способом разработки занимается проектами внедрения роботизированного горного оборудования, поэтому практически все крупные мировые производители шахтной и карьерной техники предлагают готовое или анонсируют разрабатываемое горное оборудование с роботизированным управлением (табл. 1).

* Исследования выполнены в рамках гранта Уральского отделения РАН по проекту 12-С-5-1030 «Прогноз развития транспортных систем карьеров с учетом совершенствования геотехники и повышения требований экологичности»

Таблица 1

Обзор систем дистанционного и роботизированного управления горнотранспортными и другими машинами

Производитель оборудования	Разработчик системы управления	Название и тип системы	Имеющиеся образцы машин	Заявленные преимущества	Область применения	Реализованные проекты
ОАО «БелАЗ»	ООО «ВИСТ Майнинг Технолоджи» (входит в «ВИСТ Групп») [1]	«Интеллектуальный карьер» (РУ)	БелАЗ-75137 (гр/п 130-136 т)	- безопасность операторов; - один оператор на 4-10 самосвалов; - повышение производительности работы самосвалов на 20 % за счет уменьшения количества простоев, изменения технологического процесса смены	Открытая разработка месторождений (экскаваторно-автомобильные комплексы)	Полигонные испытания автосамосвала на заводе БелАЗ (Белоруссия)
–	Remote control technologies (RCT) [2]	Control Master (ДУ)	ШСС Caterpillar, подземные машины, бульдозеры	- безопасность операторов; - улучшение условий труда	Автоматизация машин на открытых и подземных горных работах, строительстве	Комплекс машин карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» (4 ШСС и погрузчик); реализованные проекты в Австралии
–	Сотрудничество компаний «Cavotec» и «Specto Remote» [3]	Система дистанционного управления ШСС и экскаваторами, ДУ промышленных установок	ШСС и экскаваторы Caterpillar	Безопасность операторов	Выполнение выемочно-погрузочных и транспортных работ в опасных условиях	Рекультивация военного полигона «Хьеркинн» в Норвегии (ШСС и экскаваторы)
Caterpillar [4]	Система MineGem разработана компанией «Dynamic Automation Systems» (DAS), работающей с 1996 г. на результатах исследований «CSIRO» и «University of Sydney»	Cat MineStar System – комплексная система автоматизации горнодобывающего предприятия. MineGem – созданный ранее проект роботизированного управления для подземных горных работ	ШСС, бульдозеры (ДУ). Подземные машины, в том числе для поточной технологии (полуавтономные)	- безопасность операторов; - улучшение условий труда; - повышение производительности оборудования; - сокращение простоев; - повышение коэффициента загрузки самосвалов; - один оператор может контролировать несколько машин	Открытая и подземная разработка месторождений (бурение, бульдозеры, автосамосвалы, подземные машины)	Бульдозеры с ДУ. Реализована система MineGem в LKAB's Malmbergs Mine (Швеция), Stawell gold mine (Австралия), системы механизированной крепи (полуавтономные)

Окончание таблицы 1

Производитель оборудования	Разработчик системы управления	Название и тип системы	Имеющиеся образцы машин	Заявленные преимущества	Область применения	Реализованные проекты
Komatsu [5]	«Modular mining system»	FrontRunner	Карьерные автосамосвалы (930E-4AT), гидравлический экскаватор (PC5500), бульдозер (D475A), колесный бульдозер (WD900) грейдер (GD825).	<ul style="list-style-type: none"> - безопасность операторов; - улучшение условий труда; - повышение производительности оборудования; - сокращение простоев; - один оператор может контролировать несколько машин 	Открытая разработка месторождений (карьерные автосамосвалы, экскаваторы, бульдозеры и др.)	West Angelas mine компании Rio Tinto (Австралия)
Sandvik [6]	Изначально сотрудничали с «MacDonald, Dettwiler and Associates» (MDA)	Automine. Автоматизация процессов: выемка и погрузка, транспортирование, бурение, сводная система мониторинга и управления по процессам (участкам)	ПДМ, подземные самосвалы, буровые каретки, наземные буровые станки	<ul style="list-style-type: none"> - безопасность персонала; - повышение производительности; - снижение износа машин; - сокращение персонала (1 оператор на 5 буровых станков) 	Подземная разработка месторождений (ПДМ, подземные самосвалы, бурение) Открытые горные работы (бурение)	Codelco's El Teniente Mine (Чили, июнь 2004 г.), Inmet Mining's Pyhäsalmi Mine (Финляндия, январь 2005 г.), DeBeers' Finsch Mine (Южная Африка, август 2005 г.), Williams Mine (Канада, июнь 2007 г.), Sandvik's Test Mine, (тестовый полигон, Тампере, Финляндия)
Atlas Copco [7]	–	Scooptram Automation system (роботизированная система, полуавтономная)	ПДМ, подземные буровые станки	<ul style="list-style-type: none"> - безопасность персонала; - комфортные условия труда; - повышение производительности; - снижение износа машин за счет оптимизации управления; - возможность интеграции с существующими системами автоматизации 	Подземные горные работы (ПДМ, самосвалы, буровые станки)	Шахта Andina Mine (Codelco, Чили, ПДМ), Kemi (Финляндия, 2008, ПДМ), Diavik Mine (Канада, 2010, ПДМ), LKAB's Malmberget Mine (Швеция, буровые станки), карьерный буровой станок для Rio Tinto (Австралия)

ДУ – дистанционное управление; РУ – роботизированное управление; ШСС – шарнирно-сочлененные самосвалы

Первым предприятием на территории России, на практике внедряющим систему удаленного управления горным оборудованием на карьере, является компания «АПРОСА» [8, 9]. Для доработки карьера «Удачный» в нижней опасной зоне с увеличенными углами откоса бортов карьера применяется комплекс из 4 шарнирно-сочлененных самосвалов (ШСС) и одного погрузчика фирмы Caterpillar, управляемые дистанционно. Основная цель – обеспечение безопасности операторов. Пункт дистанционного управления (ПДУ) располагается в безопасной зоне карьера, движение оборудования в опасную зону и работа в забое осуществляются только в режиме дистанционного управления из ПДУ или с помощью мобильного ручного пульта. В перспективе планируется автоматизировать буровой станок. Разработку системы дистанционного управления осуществляла компания Remote Control Technologies.

Таким образом, в настоящее время и в ближайшем будущем будет наблюдаться расширение номенклатуры горного оборудования с дистанционным и роботизированным управлением, будут внедряться новые системы удаленного управления на горнодобывающих предприятиях.

Требуется уточнения терминология в этом вопросе. В целом системы дистанционного и роботизированного управления без непосредственного присутствия оператора на объекте управления (машине) можно назвать **удаленным управлением**.

Можно дать следующее обобщенное определение [10] и [11]: безлюдные технологии добычи полезных ископаемых – это технологические процессы, обеспечивающие вскрытие, подготовку и выемку запасов полезного ископаемого без непосредственного присутствия людей (рабочих) в зоне ведения горных работ.

В общем случае следует различать «безлюдную технологию» и применение удаленного управления. Например, применение роботизированных машин может не сопровождаться созданием безлюдной технологии добычи, когда роботизированы всего 1 – 2 типа оборудования и/или когда труд операторов (рабочих) в зоне ведения горных работ не исключен и составляет большой объем.

Анализ литературы и синтез вариантов управления машинами показали, что по степени автоматизации можно выделить следующие виды удаленного управления, основным классификационным признаком которых служит вовлеченность в процесс управления человека (оператора):

1. *Дистанционное управление (в зарубежной литературе – remotecontrol)*. Представляет собой управление машинами, дублирующее управление из кабины, но на безопасном для оператора удалении, тем самым устраняя воздействие вредных и опасных условий труда на человека.

2. *Полуавтономное (комбинированное, роботизированное) управление (semi-autonomoussystem)*. Управление машиной при выполнении наиболее сложных операций и работ, требующих творческого подхода, осуществляется оператором в режиме дистанционного управления, а рутинные операции осуществляются в автоматическом режиме (например, движение по траектории до назначенного пункта, разгрузка и т. п.).

3. *Автономное (роботизированное) управление (autonomoussystem)*. Характеризуется передачей функций управления программно-аппаратному комплексу, смонтированному на объекте управления, что позволяет использовать такую технику в автономном режиме и устраняет потребность в непосредственном управлении оператором для выполнения операций технологического цикла.

Проанализируем основные преимущества, обеспечиваемые удаленным и роботизированным управлением (табл. 2).

Преимущества и недостатки систем дистанционного и роботизированного управления горнотранспортными машинами

Вид удаленного управления	Преимущества	Недостатки
Общие преимущества и недостатки	1. Безопасные условия труда операторов. 2. Возможность работы машин в опасных условиях при оптимизированных параметрах карьера	Дополнительные затраты на приобретение и обслуживание системы ДУ
Дополнительно для дистанционного управления	1. Возможность операторам согласовывать действия, находясь в одном помещении. 2. Возможность работы на удалении нескольких километров, создания единого центра управления для группы близкорасположенных карьеров	Возможно снижение производительности машин
Дополнительно для роботизированного управления	1. Повышение производительности машин. 2. Увеличение межремонтного пробега машин. 3. Операторы находятся в безопасных и комфортных условиях труда. 4. Возможность работы машин в опасных условиях при оптимизированных параметрах карьера. 5. Снижаются эксплуатационные затраты за счет оптимального управления. 6. Возможность создания единого центра управления несколькими ГОКами непосредственно в развитых городах на удалении в тысячи км от предприятий с минимальным количеством персонала на карьерах	1. Увеличенный срок ввода машин в эксплуатацию. 2. Появляется новый вид персонала – высококвалифицированные операторы ЭВМ

ДУ – дистанционное управление

Следует отметить, что для роботизированного управления существует еще два негативных фактора:

- это невозможность полной автоматизации сложных процессов (например, селективная выемка, действия в нестандартных ситуациях), поэтому для карьеров с большим количеством таких операций количество персонала будет увеличено;

- остается потребность в ремонтном персонале непосредственно на горнодобывающем предприятии.

Причинами развития безлюдных технологий добычи полезных ископаемых являются:

- нехватка рабочей силы и исключение необходимости строительства жилых поселков в неосвоенных районах добычи полезных ископаемых;

- исключение нахождения людей в опасных условиях труда; возможность работать с такими параметрами горных выработок, которые запрещены по условиям безопасности при нахождении людей;

- повышение производительности оборудования за счет точного и оптимального управления;

- снижение затрат, связанное с повышением производительности, исключением простоев оборудования, сокращением количества персонала, оптимизацией управления и т. д.

Помимо безопасности операторов горных машин и улучшения условий труда, «безлюдные технологии» могут обеспечить ряд технологических преимуществ за счет повышения производительности, снижения энерго- и ресурсоемкости производства путем оптимизации компьютерного управления [12]. Важно провести количественную оценку таких преимуществ в сравнении с данными литературы: повышение производительности обеспечивается увеличением скорости движения машин и исключением времени пересменок. Увеличение скорости движения самосвалов по трассе возможно за счет

- оптимизации управления машиной компьютером, исключения человеческого фактора;
- снятия ограничений по безопасной скорости движения благодаря нахождению оператора в удаленном безопасном месте.

Основными факторами, определяющими резерв увеличения производительности, являются

- достигнутая на предприятии скорость движения автосамосвалов по горизонтальным участкам при ручном управлении из кабины водителями;
- дальность транспортирования по конкретной трассе;
- продолжительность погрузочно-разгрузочных операций (считаем, что она не изменяется при переходе на роботизированное управление) и их доля в общей продолжительности рейса;
- доля участков со значительным уклоном (более 6 %) в протяженности трассы.

Также отметим, что заметное влияние оказывает скорость на наклонных съездах, но при среднем значении уклона таких участков 8 % и удельной мощности современных карьерных автосамосвалов порядка 5 кВт/т скорость движения по ним на подъем составит порядка 15 км/ч.

С учетом указанных допущений повышение производительности можно оценить по следующей зависимости (рис. 1):

$$\Delta\Pi = \frac{(\Delta v - 1) \cdot (2 - \Delta_{\text{уч}})}{\frac{\Delta v \cdot v_1 \cdot t_{\text{п+р}}}{L} + \frac{\Delta_{\text{уч}} \cdot \Delta v \cdot v_1}{15} + 2 - \Delta_{\text{уч}}}, \%,$$

где Δv – кратность увеличения скорости при применении роботизированного управления;

v_1 – скорость автосамосвала при управлении водителем из кабины, км/ч;

L – дальность транспортирования, км;

$\Delta_{\text{уч}}$ – доля наклонных участков в протяженности трассы;

$t_{\text{п+р}}$ – длительность погрузочно-разгрузочных операций за рейс, ч.

Из рисунка 1а) видно, что для повышения часовой производительности требуется значительное увеличение скорости. Так, при увеличении скорости в 1,5 раза (с 30 до 45 км/ч) производительность возрастет только на 14 % (при расстоянии транспортирования 4 км). Также видно, что с увеличением дальности транспортирования эффект от перехода на роботизированное управление возрастает за счет уменьшения доли погрузочно-разгрузочных работ в общей продолжительности рейса (рис. 1 б)), то же самое наблюдается при непосредственном сокращении продолжительности погрузочно-разгрузочных операций.

Таким образом, наиболее вероятный достижимый эффект от увеличения скорости составит порядка 10 – 15 % на достаточно прямолинейных трассах с небольшим количеством крутых поворотов с протяженностью более 2 км, долей наклонных участков не более 0,75. В наиболее благоприятных условиях на трассах с небольшим перепадом высот и долей наклонных участков менее 0,3 возможно достичь повышения производительности до 35 – 40 % при условии увеличения максимальной скорости движения автосамосвалов при переходе на роботизированное управление с 30 до 50 км/ч.

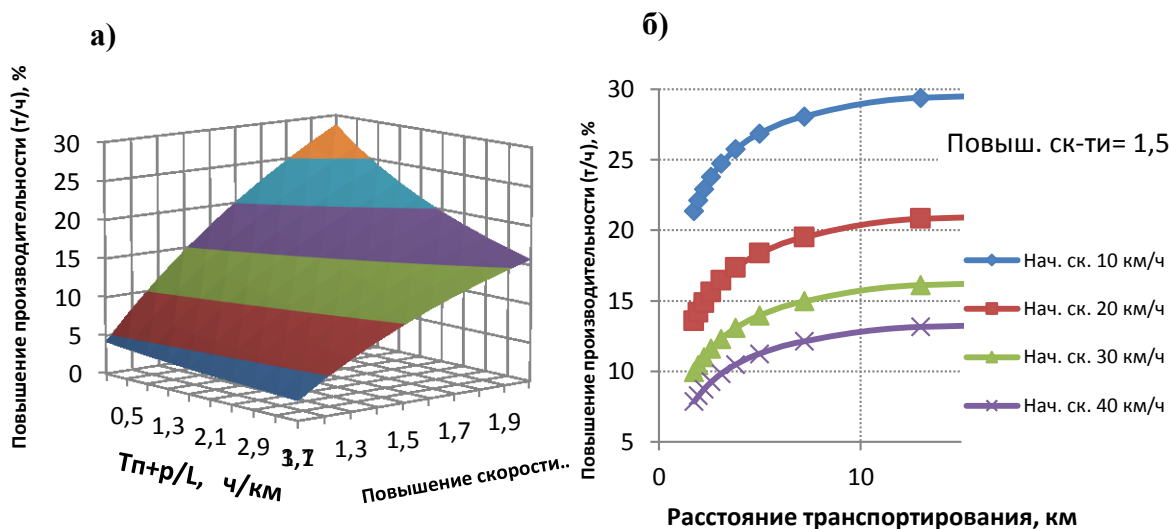


Рис.1 – Повышение часовой производительности автосамосвала в зависимости от основных факторов:

а) продолжительности погрузочно-разгрузочных операций по отношению к дальности транспортирования и достижимого повышения скорости при переходе на роботизированное управление (скорость автосамосвала при ручном управлении 30 км/ч, доля наклонных участков в длине трассы составляет 0,75)

б) расстояния транспортирования при различной скорости ручного управления (при условии, что повышение скорости при переходе на роботизированное управление составляет 1,5 раза)

В случае применения роботизированных комплексов, которые работают в автоматическом режиме, возможно исключить остановку оборудования на время пересменки операторов и за счет этого добиться повышения суточной выработки (рис. 2).

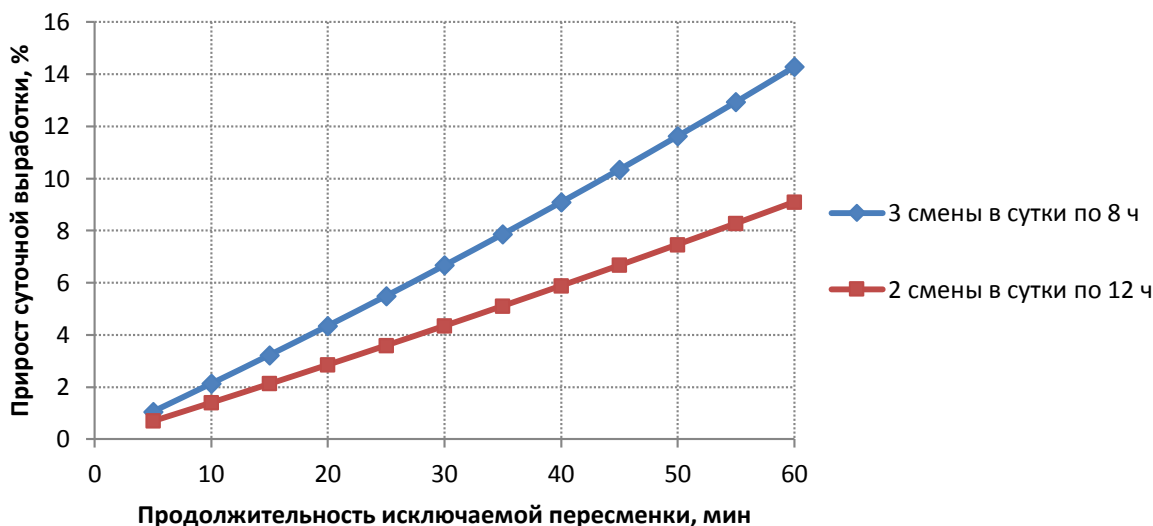


Рис. 2 – Зависимость прироста суточного объема перевозок автосамосвала от длительности исключаемой пересменки при переходе на роботизированные комплексы

В табл. 3 приведен сводный анализ возможных преимуществ применения роботизированного управления горнотранспортными комплексами.

Преимущества применения роботизированного управления

Фактор	Преимущества при РУ	Зависимый показатель	Достижимое повышение показателя («+» - повышение, «-» - снижение)	
			Расчеты	Данные литературы
Пересменка	Исключается	Выработка за сутки	3 см. х 8 ч: + 4-9 % 2 см. х 12 ч: + 3-6 %	+ 5-20 %
Скорость движения	Увеличивается за счет: - оптимального управления; - исключения человека из опасных условий	Производительность (т/ч) Выработка за сутки	+ 10-15 % + 10-15 %	- 7 % (продолжительность рейса)
Трудоёмкость ТОиР	Снижается	Затраты на ТОиР	Нет достоверного подтверждения	- 14 % (затраты)
Количество персонала	Снижается кол-во операторов, но дополнительно требуются наладчики АСУ	Затраты на оплату труда	При высокой степени автоматизации всех процессов возможно снижение	- 5 %. один оператор на 4 – 10 машин

РУ – роботизированное управление; ДУ – дистанционное управление

Анализ тенденций развития машин с дистанционным и роботизированным управлением, современных проектов отработки карьеров, а также перспектив развития безлюдных технологий добычи полезных ископаемых позволяет сформулировать технологические требования к транспортным системам карьеров, вскрытых автомобильными съездами (табл. 4).

Для системы роботизированных машин с высоким уровнем автономности, особенно для крупных комплексов, традиционное диспетчерское управление, осуществляемое операторами, может снизить эффект применения роботов. В связи с этим целесообразно использовать автоматизированные системы оптимизации маршрутов и распределения транспортных средств по маршрутам. При этом оптимизация должна осуществляться в режиме реального времени для большей эффективности. Основой такой системы адаптивного управления горнотранспортным комплексом может стать программный комплекс, который с помощью имитационного моделирования прогнозирует развитие ситуации по вариантам и определяет наиболее рациональный по выбранному оператором критерию или набору критериев (максимальная производительность, минимальные затраты, минимальное количество машин в работе и т. п.) [13].

Таким образом, основными тенденциями развития транспортных систем карьеров с использованием роботизированных машин являются следующие:

1. В настоящее время активно развиваются технологии и техника удаленного управления горнодобывающими машинами как на открытых, так и на подземных горных работах. Это обусловлено запросами горнодобывающих предприятий и возможностями современной техники. В настоящее время можно выделить типы удаленного управления: дистанционное, роботизированное (полуавтономное и автономное).

2. В мире реализованы и реализуются более 10 проектов автоматизации горнотранспортных комплексов на карьерах и шахтах, подавляющее большинство – за рубежом. В России реализуется один проект с дистанционным управлением и один проект создания роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов (БелАЗ и ВИСТ Групп).

**Технологические требования к транспортным системам с удаленным управлением
для карьеров, вскрытых автомобильными съездами**

Область применения	Показатель	Вид удаленного управления	
		Дистанционное	Роботизированное
<i>Требования к транспортной системе</i>			
Отработка крупных карьеров	Цель автоматизации	Безопасность людей при выполнении специальных работ. Автоматизация локального участка.	- Повышение производительности; -сокращение количества операторов (1 оператор на 3-10 машин), -снижение затрат на транспортирование
	Диспетчеризация	Традиционная	Оптимизирующая компьютерная, обеспечивающая высокую производительность и минимальные простои оборудования
	Дальность транспортирования	Минимизировать за счет повышения уклона автодорог. Вероятный диапазон: 1-5 км	Минимизировать за счет повышения уклона автодорог. Вероятный диапазон: 2-15 км
	Высота подъема	10-50 м	100-400 м
	Объем перевозок	1-20 тыс.т/сутки	5-100 млн т/год
	Производительность	Допустимо снижение производительности транспортных средств на 20 %	Сохранение или повышение производительности до 20 %
	Количество автосамосвалов в работе	1-10	20-100
	Грузоподъемность автосамосвалов	40-450	130-450
	Скорость движения	Может быть снижена	Повышение скорости движения на 20-50 % на слабонаклонных участках и в порожняковом направлении
	Уклон автодорог	Может быть увеличен до максимальных тягово-сцепных возможностей	Может быть увеличен до максимальных тягово-сцепных возможностей
	Технологические требования к транспортным средствам	Невысокая стоимость оборудования системы ДУ	Автоматизация всех операций, целесообразно сохранение классической компоновки машин
Доработка глубоких карьеров	Цель автоматизации	Безопасность людей при специальных работах	Безопасность людей при сохранении или повышении производительности
	Диспетчеризация	Традиционная	Традиционная
	Дальность транспортирования	Автоматизированное звено: 1-5 км. Перегрузка в карьере на автосамосвалы большей грузоподъемности	
	Высота подъема	100-300 м	
	Объем перевозок	1-5 млн т/год	
	Количество автосамосвалов в работе	4-20	
	Грузоподъемность автосамосвалов	40-70 т	
	Уклон автодорог	Съездов – 20...50 % Средневзвешенный – 15...40 %	
	Производительность	Допустимо снижение производительности транспорта на 20%	Сохранение производительности относительно уровня с оператором в кабине или ее повышение
	Технологические требования к транспортным средствам	Равноценные тягово-динамические качества при переднем и заднем ходе, возможна бескабинная компоновка, двусторонняя разгрузка, стояночный тормоз должен удерживать груженный самосвал на максимальном уклоне	

Область применения	Показатель	Вид удаленного управления	
		Дистанционное	Роботизированное
Перспективные безлюдные технологии	Цель автоматизации	—	Создание горных выработок с оптимальными параметрами, повышение производительности, возможность применения машин и материалов с повышенным вредным воздействием на людей, сокращение затрат на добычу
	Диспетчеризация		Оптимизирующая компьютерная, обеспечивающая высокую производительность и минимальные простои оборудования
	Дальность транспортирования		4-20 км
	Высота подъема		200-1000 м
	Объем перевозок		5-100 млн т/год
	Производительность		Повышенная относительно ручного управления на 10-30%
	Количество автосамосвалов в работе		10-100
	Грузоподъемность автосамосвалов		60-600 т
	Максимальная техническая скорость движения		70 км/ч
	Уклон автодорог		8-50 %
	Технологические требования к транспортным средствам		Бескабинные, маневренные, с равноценными тягово-динамическими качествами при переднем и заднем ходе, 2- и 4-сторонняя разгрузка, адаптивно управляемая энергосиловая установка, подстраиваемая под условия движения, стояночный тормоз должен удерживать груженный самосвал на максимальном уклоне

3. Особенности развития технологий удаленного управления:

- этапность внедрения удаленного управления с постепенным переходом на полностью автономные системы;
- основные производители горного оборудования уже имеют разработки и в ближайшем будущем будут предлагать готовые комплексные решения для автоматизированных горнотранспортных комплексов и добычных комплексов в целом;
- с развитием систем удаленного управления вероятнее всего будет снижаться их стоимость.

4. Основными причинами внедрения удаленного управления являются

- отсутствие или наличие потребности в сокращении рабочей силы (персонала);
- снижение негативного влияния вредных факторов на персонал и повышение безопасности труда;
- повышение производительности оборудования;
- снижение затрат на добычу.

5. Исключение «человеческого фактора» в управлении машинами, вероятнее всего, обеспечит

- повышение производительности машин;
- бережное управление, а значит, оптимизацию нагрузочных режимов, снижение

расхода ресурсов (ГСМ, шин, запасных частей и др.) и в некоторой степени увеличение ресурса машин.

6. С развитием систем роботизированного управления и созданием полностью роботизированных горнодобывающих комплексов наступит этап развития «безлюдных» технологий добычи руды, которые, вероятно, будут существенно отличаться от существующих по параметрам и способам ведения горных работ, что обусловлено отсутствием опасного влияния на рабочих. В частности, могут быть увеличены уклоны транспортных коммуникаций и повышены скорости движения транспортных единиц.

7. Применение роботизированного оборудования потребует внедрения систем диспетчерской оптимизации работы горнотранспортных комплексов, в основу которых может быть положена концепция прогнозирования ситуаций и выбора предпочтительных вариантов по заданным критериям, разработанная в ИГД УрО РАН [13].

8. При развитии безлюдных технологий добычи будет видоизменяться и горное оборудование, в частности, появятся бескабинные компоновки, способные осуществлять челночное безразворотное движение по крутонаклонным съездам.

9. Внедрение машин с удаленным управлением потребует изменения нормативно-технической базы ведения горных работ. Дальнейшее развитие безлюдных технологий добычи потребует также совершенствования нормативно-правовой базы добычи полезных ископаемых, когда будут снижаться требования к работе оборудования в рамках горных работ, но повышаться требования к нейтрализации вредного воздействия, оказываемого горными работами на окружающую среду и население.

Литература

1. «Создание первого в России роботизированного горного производства» (описание проекта «Интеллектуальный карьер») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vistgroup.ru/mof/>. – (17.06.2014)

2. SurfaceControlSystem [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rct.net.au/surface-control-system/>. – (17.06.2014)

3. Работа при пустой кабине [Электронный ресурс] / Catmagazine. – 2010. – Выпуск 2. – С. 6-8. – Режим доступа: http://www.zepelin.ru/upload/iblock/4bd/Cat_Magazine_N2-2010.pdf. – (17.06.2014)

4. Fortescue Metals implements new Caterpillar autonomous mining solution // Viewpoint: perspectives on modern mining (a publication of Caterpillar Global Mining). – 2013 (Issue 10). – P. 2-3.

5. Rio Tinto activated Komatsu's autonomous haulage system in Australia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/press/2008122516111923820.html>. – (16.06.2014).

6. Описание системы Sandvik's AutoMine™ system [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003715.nsf/GenerateTopFrameset?Read-Form&menu=&view=http%3A//www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003713.nsf/Index/22e4d21836af0147c12577d00038ad83&banner=/sandvik/0120/Internet/Global/S003715.nsf/LookupAdm/BannerForm%3FOpenDocument>. – (16.06.2014).

7. Northernstar shines bright [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://miningandconstruction.com/mining/northern-star-shines-bright-2524/>. – (17.06.2014).

8. Техничко-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров / Акишев А.Н., Зырянов И.В., Заровняев Б.Н., Тарасов П.И., Журавлев А.Г. // Горный журнал. – 2012. – №12. – С. 39-43.

9. Обоснование производительности оборудования при дистанционном управлении для карьера «Удачный» / Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Акишев А.Н., Шубин Г.В. // Горный журнал. – 2012. – №12. – С. 35-39.
10. Большой энциклопедический словарь [Электронный ресурс] <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/68498> . – (17.06.2014)
11. Геологическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/438/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F . – (17.06.2014)
12. Autonomous vs manual haulage trucks - how mine simulation contributes to future haulage system developments [Электронный ресурс]/ Juliana Parreira, John Meech– Режим доступа: <http://www.infomine.com/publications/docs/parreira2010.pdf> . – (16.06.2014).
13. Имитационное моделирование и автоматизированное управление горнотранспортными работами в карьерах / Салахиев Р.Г., Дедюхин А.В., Бахтурин Ю.А., Журавлев А.Г. // Горный журнал. – 2012. - №1. – С. 82-85.