

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.831.1

А.А. Неверов, С.А. Неверов

К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ ПРИ ОСВОЕНИИ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С ОБРУШЕНИЕМ И ЗАКЛАДКОЙ

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние автоматизации добывчих работ на отечественных рудниках на порядок уступает зарубежным предприятиям [1-5]. Фактами, замедляющими развитие систем автоматизации и роботизации горных процессов, являются нежелание отойти от проверенных и надежных существующих методов работы и огромные инвестиции, сопряженные с риском. Постепенное внедрение новых технологий, разработанных вокруг старых кадровых и административных структур, создает некоторую сложность и напряженность из-за консервативного подхода. В результате появляются тенденции в неспособности принятия нововведений и во множестве проблем нетехнического характера.

Настоящая статья¹ посвящена прогнозированию моделей автоматизированных систем управления очистными работами применительно к условиям комбинированных геотехнологий на базе мирового опыта (рис. 1). В качестве последних рассматриваются комбинированная выемка с закладкой и обрушением [1, 6], сплошная камерная система разработки с обрушением кровли, технология лава-этаж и система подэтажного обрушения с площадно-торцевым выпуском руды [7].

Сущность первого варианта (рис. 1 а) заключается в разделении залежи на участки, отрабатываемые с твердеющей закладкой и обрушением. В первую очередь извлекаются запасы, на месте которых формируются искусственные целики. Во вторую – с отставанием отрабатываются временные рудные целики под обрушенными породами кровли в форме устойчивого свода равновесия шатрового типа. В зависимости от горно-геологических условий, выемка участков с твердеющей закладкой осуществляется слоевыми или камерными системами. Отработка временных рудных целиков – этажным или подэтажным обрушением.

Сплошная камерная система с обрушением кровли (рис. 1 б) предусматривает деление залежи на блоки, включающие камеру и целик. В первую очередь извлекаются запасы камеры. По заверше-

нию ее отработки целик обрушается на открытое очистное пространство, и выпуск руды осуществляется под защитой породной консоли. По окончании выпуска производится принудительное обрушение пород кровли до проектной высоты.

Геотехнология лава-этаж (рис. 1 в) предполагает образование в почве и кровле залежи лавных подсечек с временными поддерживающими целиками и отбойку рудного «моста» между ними под защитой опережающего крупноблочного обрушения налегающей толщи пород. Участок рудной залежи на горизонте выпуска оконтуривается вентиляционно-откаточными выработками, между которыми образуется лавный очистной забой по камерно-столбовой схеме. Рудная консоль поддерживается временными целиками, извлекаемыми совместно с обрушением рудного «моста». Перед отбойкой его и первого ряда целиков нижней подсечки производят опережающую посадку кровли крупноблочным обрушением пород на высоту равную 0,8-1,0 мощности залежи.

Отличительной особенностью системы разработки подэтажного обрушения с площадно-торцевым выпуском руды (рис. 1 г) в сравнении с «классическим» торцевым выпуском является дополнительная проходка между буродоставочными ортами погрузочных заездов, используемых для выпуска руды по площади отбиваемого слоя и проветривания очистных забоев за счёт общешахтной депрессии. Все процессы проходки выработок и очистной выемки выполняются с применением высокопроизводительного самоходного оборудования. Принцип отработки по данной технологии позволяет быстро и гибко реагировать на изменения горно-геологических и горнотехнических условий разработки. Её отличает простота конструкции и особый выпуск руды.

Предлагаемые способы выемки с точки зрения конструктивного оформления сочетают в себе широко известные в мировой практике элементы классических систем разработок, которые в достаточной степени используют автоматизированные системы управления. В связи с этим возникает необходимость в оценке способности разработанных геотехнологий к автоматизации основных процессов добычи руды и алгоритмизации управления работой горных машин в автоматизирован-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-98.2009.5

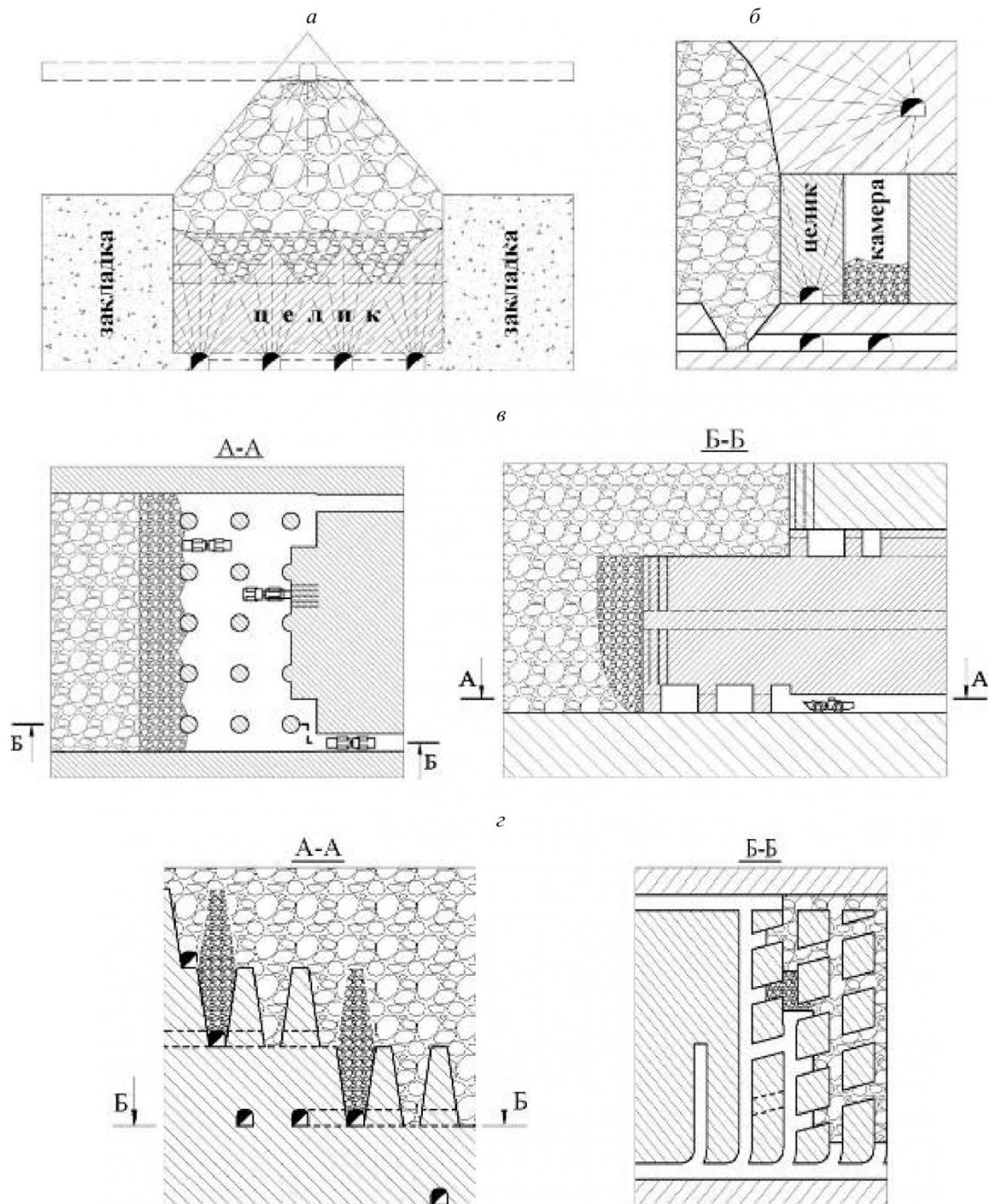


Рис. 1. Технологические схемы систем разработок: а – комбинированная выемка с закладкой и обрушением; б – сплошная камерная система с обрушением пород кровли; в – геотехнология лава-этаж; г – подэтажное обрушение с площадно-торцовым выпуском руды

ном режиме.

МИРОВОЙ ОПЫТ

В практике подземной добычи руд Швеции, Финляндии, Канады и Австралии имеются яркие примеры реализации автоматизированных систем управления горным производством [8-28]. Наиболее полные и комплексные решения вопросов автоматизации и роботизации процессов выемки минерального сырья достигнуты на рудниках

Швеции и Финляндии.

Одной из наиболее передовых и лидирующих фирм в мире является Шведская железорудная компания LKAB [2, 14-26], применяющая на подземных работах мощную самоходную технику.

В состав компании входят два крупных подземных рудника [2, 18-20]:

1. «Кируна» – крупнейший железорудный комплекс, включающий одно рудное тело падением (до 60°), простиранием 4 км, мощностью до 80

м и разведенное на глубину 2 км. Годовой объем добычи – 14,5 млн. т;

2. «Мальмбергет» имеет 10 рудных тел, мощностью до 100 м. Годовой объем добычи – 7,8 млн. т.

На обоих рудниках применяется система разработки подэтажным обрушением с торцовым выпуском руды.

Кратко рассмотрим аспекты автоматизации основных процессов очистной выемки (отбойка, доставка, поддержание выработанного пространства).

Веерное бурение отбиваемого слоя руды производится следующими автоматизированными буровыми установками с дистанционным управлением (ДУ):

1. Atlas-Copco Simba W469;
2. Tamrock SOLO SIXTY с выносными гидроударниками;
3. Tamrock SOLO 08 с выносным гидроударником.

Автоматизация и дистанционное управление процессом бурения первоначально осуществлялось из участкового пункта, расположенного в непосредственной близости от установки (рис. 2 а). В настоящее время операторы размещаются в специально оборудованном центре управления в отдельном помещении на горизонте 775 м на расстоянии 3 км (рис. 2 б) [2, 18-20].

Система передачи информационных данных (изображений, звука и т.д.), разработанная совместно с компанией Elektrobit, Оулу (Финляндия), включает магистральный оптоволоконный кабель, фидерные кабели, протянутые от него к базовым станциям, установленным в различных добывающих блоках рудника. Данные мониторинга буровых установок (от состояния самой машины до истории ее обслуживания) оператор получает через беспроводную компьютерную систему подземной связи WUCS [20].

Внедрение автоматизированных буровых ус-

тановок с ДУ и применяемые системы контроля доказали свою эффективность и надежность работы. Например, объем бурения увеличился почти вдвое. Уменьшилось необходимое количество персонала. Группа из 9-ти операторов обеспечивает круглосуточную работу 5-ти автоматизированных дистанционно управляемых буровых установок. Единовременно три человека имеют возможность управлять 11-ю установками [11, 12]. Значительно улучшились условия труда операторов.

Для производства взрывных работ используется высокопроизводительное оборудование для зарядки скважин, которое разработано LKAB/Kimit и управляется двумя операторами. Движение зарядного шланга осуществляется автоматически. Детонаторы помещаются вручную на верхнем конце зарядной трубы и подаются в скважину вместе со шлангом. Следует отметить, что данное оборудование обеспечивает регулируемость основных показателей зарядки [12].

На погрузочно-доставочных работах в пределах очистного блока применяются самоходные машины (ПДМ) с электрическим приводом типа Toro 2500 Е фирмы Sandvik Tamrock.

Для обеспечения безопасности и точности эксплуатации крупногабаритных погрузчиков в стесненных подземных условиях используется скоростная система подземной навигации (рис. 3) схожая с GPS. По пути движения ПДМ на бортах выработки закрепляются выполняющие роль спутников отражатели, положение которых фиксируется в управляющем компьютере. Установленный на крыше машины врачающийся лазер регистрирует ее положение и сообщает координаты в центр управления. Информация обновляется 40 раз в секунду, обеспечивая возможность автоматического движения погрузчика со скоростью до 20 км/час без отклонения от курса, практически с той же скоростью, что достигается при ручном управлении. Управляющая система выполняет функции не только по регулированию движения

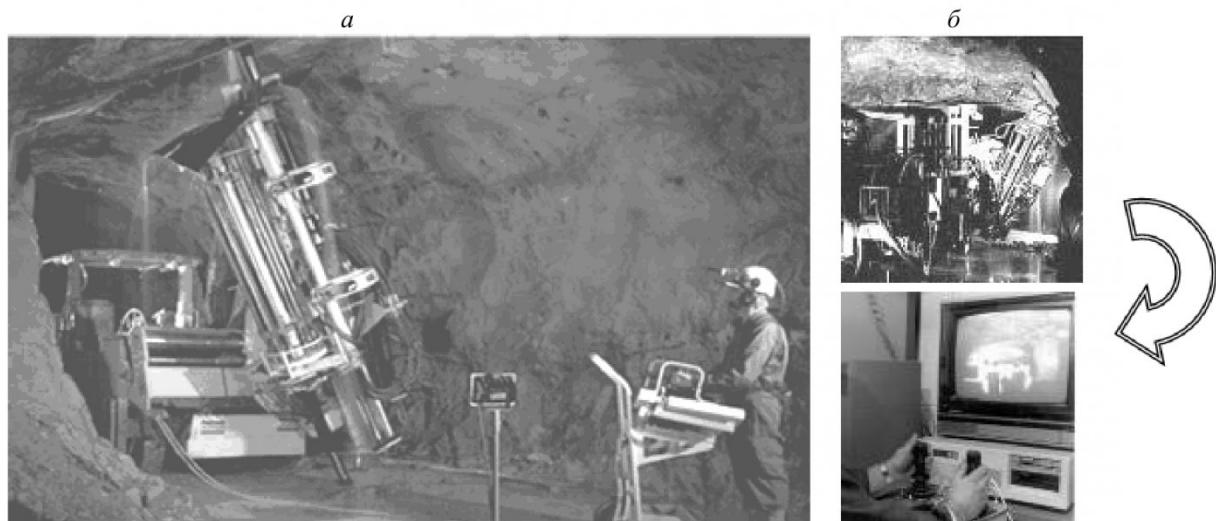


Рис. 2. Управление бурением скважин: а – с участкового пункта; б – с центра управления расположенного на горизонте 775 м

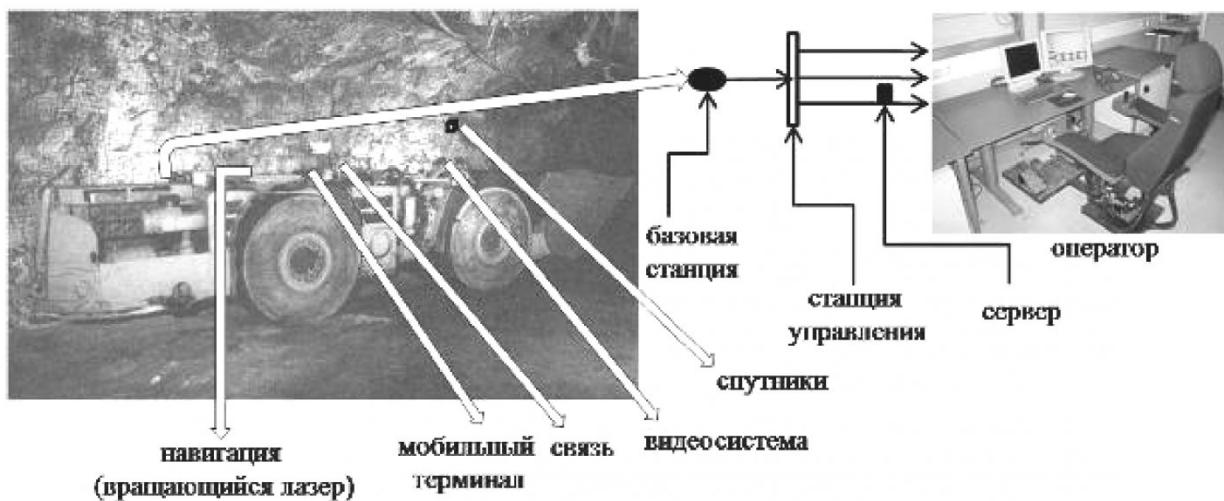


Рис. 3. Автоматизированное дистанционное управление погрузочно-доставочной машиной с использованием скоростной системы подземной навигации

двух машин, находящихся в одной зоне погрузки, но и обеспечивает соблюдение безопасной дистанции между ними.

Процесс черпания управляется оператором дистанционно с использованием нескольких бортовых видеокамер. На машине установлена система взвешивания ковша, позволяющая вследствие значительной разницы плотностей руды и пустой породы обеспечивать весьма точную оценку сортности руды и содержания пустой породы в ковше [13].

Применительно к руднику Zinkgruvan (Швеция) используемому для выемки полиметаллических руд слоевые и камерные технологии с закладкой был разработан современный закладочный комплекс [2, 21]. Весь процесс приготовления пастообразной закладки полностью автоматизирован и управляется одним оператором. Информация постоянно контролируется системой автоматики и доступна на нескольких мониторах, размещенных в разных местах комплекса. Основная задача оператора – наблюдение за текущим состоянием процессов с помощью мониторов. В подземных условиях производится только визуальный контроль.

Другим впечатляющим примером являются финские горнорудные компании. В частности, рудник Kemi, где реализована концепция «интеллектуального рудника» (intelligent mine), и рудник Pyhäsalmi, ведущий разработку на глубинах 1500 м.

Рудник Kemi считается одним из самых прогрессивных в мире по уровню техники, так как спроектирован как «рудник-фабрика». Отличительной особенностью от выше рассмотренных является ориентированность на «безлюдные системы». В качестве основной геотехнологии применяется восходящая система разработки подэтажными штреками с камерно-целиковым порядком выемки с последующей закладкой выработанного пространства [2, 27].

Парк мобильного автоматизированного самоходного оборудования на очистных работах включает:

- буровые установки типа Atlas Copco Simba M6C и Atlas Copco Simba M7C;
- установку для анкерного крепления Atlas Copco Boltec и для тросового анкерного крепления Atlas Copco Cabletec;
- ПДМ Sandvik Tamrock Toro 0010, Toro 0011, Toro 501 и Caterpillar 980;
- установку для дробления негабаритов на базе ПДМ Toro 500 с гидромолотом Rammer;
- установку для оборки кровли Gradall;
- установку для заряжания эмульсионного ВВ Normet.

В машине Atlas Copco Cabletec функции двух манипуляторов разделены. Один предназначен для бурения скважин, другой – для установки тросового анкера. После забуривания оператор переводит бурение в автоматический режим и при помощи второго устанавливает анкер в уже готовую скважину. За счет совмещения операций по времени рабочий цикл значительно укорачивается.

Ряд мобильных машин соединены с беспроводной локальной сетью. Это позволяет управляющей службе рудника посыпать производственные задания непосредственно на машину, получать от нее информацию о выполнении и данные для техобслуживания. Информация от работающих буровых машин о скорости бурения, давлении и скорости подачи, скорости вращения и др. в реальном времени поступает в управляющую систему рудника и появляется на мониторе у оператора.

Буровые установки Atlas Copco оснащены системой RRA удаленного доступа, которая позволяет в случае необходимости службе технической поддержки через Интернет из офиса компании в Ёребро осуществлять диагностику, устанавливать или отлаживать программное обеспечение.

Рудник Kemi первый из клиентов Atlas Copco использовал опцию RRA.

Следует отметить, что, несмотря на низкую ценность добываемых руд на месторождении прогрессивные технологии и инновационные технические решения позволяют руднику быть на передовом месте в мировой горной промышленности [2].

Отличительными особенностями рудника Pyhäsalmi (Финляндия) являются полностью автоматизированный рудничный подъем с глубины 1500 м и использование передовых информационных технологий для мониторинга и управления производством [2, 22-24].

Автоматизированная компьютерная система предприятия обеспечивает контроль и управление производством, мониторинг технологических

ведется из единого управляющего центра на поверхности диспетчером, задачи которого сводятся к мониторингу за состоянием процессов и оборудования на мониторах системы управления (рис. 4).

Общешахтная система подземной радиосвязи на основе излучающего фидера покрывает 95 % подземной инфраструктуры. Система позволяет осуществлять голосовую радиосвязь, идентификацию персонала и мобильного оборудования [2, 23].

Бурение скважин на очистных работах осуществляется установки Sandvik Tamrock с возможностью автоматического бурения веера. Обмен данными ведется через локальную сеть.

Погрузка и доставка руды до рудоспуска производится ПДМ Toro фирмы Sandvik Tamrock

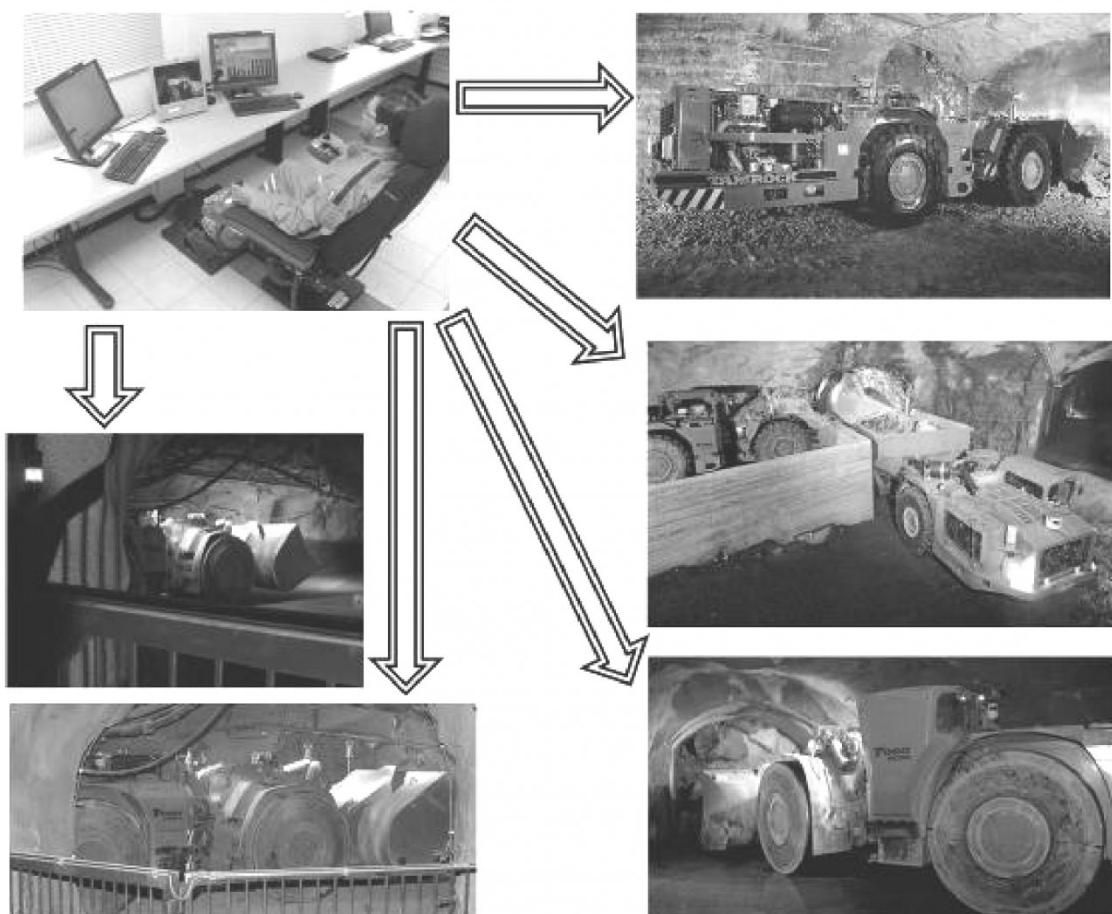


Рис. 4. Автоматизированная система доставки отбитой руды

процессов и диагностику неисправностей шахтного оборудования. В основе системы – общерудничная локальная оптоволоконная компьютерная сеть, охватывающая поверхностную и значительную часть подземной инфраструктуры рудника, в том числе, все устройства и механизмы в цепи переработки руды, включая подземное мобильное оборудование [23, 24].

Наблюдения в реальном времени за отдельными технологическими процессами – от очистных забоев и рудоспусков до приемных бункеров,

управляемыми системой Automate [2, 23]. На борту погрузчика размещаются блок управления двигателем и поворотом машины, блок навигации, видеокамеры и микрофон. Навигация осуществляется при помощи лазерного сканера, гироскопа и датчика одометрии [2]. Указанные бортовые устройства через беспроводную локальную сеть связаны с центром управления в микроавтобусе, где находится один оператор.

Переход с дистанционного радиоуправления на систему Automate позволил повысить производи-

дительность доставки на 25 % [25].

На руднике Brunswick (Канада) [2] отрабатывающем рудную залежь сплошной слоевой системой разработки с твердеющей закладкой для обеспечения безопасности ведения горных работ в условиях ограниченности рабочего пространства, резкого сокращения времени цикла от отбойки до отгрузки отбитой руды, широко осваивается система интегрированного автоматизированного управления (SIAM). Данная система состоит из мультимедийной коммуникационной базы, видеотелеоперационной системы, системы автоматической загрузки ковша ПДМ и автоматизированной системы вождения ПДМ и самосвалов. В 1997 г. на руднике работало 21 ПДМ типа Wagner ST-8B с системой SIAM. Машины снабжены электронным модулем, передающим и принимающим радиосигналы в режиме реального времени. Изображение с бортовых видеокамер, информация о техническом состоянии ПДМ и её узлов регулярно передаётся на управляющий пульт.

Повсеместное применение системы SIAM на руднике позволило увеличить производительность ПДМ на 20 %.

Таким образом, достигнутый технический уровень на современных рудниках мира и тенденции развития автоматизации демонстрируют широкие возможности для уменьшения затрат ручного труда и создания условий для работы горных машин без постоянного присутствия человека в опасных рабочих зонах.

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ ДЛЯ УСЛОВИЙ РАССМАТРИВАЕМЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

Учитывая опыт современных, оборудованных по последнему слову техники горнорудных предприятий, использующих для выемки полезного ископаемого классические системы разработки, установим основные приоритеты для выделенных геотехнологий.

Большая глубина разработки, повсеместное наличие аномально высоких тектонических напряжений, блочное строение месторождений и динамическое проявление горного давления являются основными факторами, определяющими способ управления состоянием очистного пространства, от которого зависят эффективность и условия труда. В связи с этим автоматизация добывочных процессов должна рассматриваться как стратегическая цель, направленная на повышение:

- безопасности работ – снижение риска для рабочих в опасных подземных условиях;
- культуры труда подземных рабочих;
- качества выполнения основных производственных процессов – повышение точности бурения и прямолинейности скважин, улучшение дробления горной массы и показателей извлече-

ния;

- производительности труда;
- экономической эффективности – снижение затрат и повышение конкурентоспособности.

Основой развития автоматизации горных работ для предлагаемых вариантов систем разработок следует считать мониторинг и коммуникационные системы. Для процессов очистной выемки (управление операциями в режиме реального времени, мониторинг состояния горного массива, бурение скважин, автомобильная доставка руды и экспресс-оценка состояния горных машин) очевидность достигнутых преимуществ исключают необходимость в экономических расчетах и дополнительных доказательствах (мировой опыт).

Диапазон операций добычи руды, управляемых теле-дистанционно и полуавтономно для комбинированных способов выемки можно свести в настоящее время к бурению скважин и погрузочно-доставочным процессам. Например, применительно к варианту лава-этаж и системы подэтажного обрушения (рис. 5) реализация современных информационных технологий для очистных работ без постоянного присутствия людей в призабойной зоне должна основываться на следующем:

- все горные машины объединяются высокоскоростной информационной сетью с приемо-передатчиками в устьях выработок и выходом на поверхность;
- на каждой машине размещены устройство автоматического управления и телекамеры;
- функции управления машиной распределены между оператором и бортовым устройством;
- оперативный контроль и отображение процессов добычи осуществляются с поверхности.

Наиболее подходящими и приспособленными к выполнению добычных работ в условиях комбинированной, сплошной камерной геотехнологий, системы лава-этаж и подэтажного обрушения на отечественных месторождениях, подобных по своим горно-геологическим и геомеханическим особенностям с зарубежными рудниками являются проверенные практикой автоматизированные буровые и погрузочно-доставочные машины в конфигурации «готовность к полной автоматизации» компаний Atlas Copco (Simba, SOLO) и Sandvik Tamrock (Toro) и системы автоматизированного управления типа Automate [14-25].

Внедрение подобного рода автоматизированных систем и горного оборудования, учитывая мировой опыт, позволит [8-28].

- значительно увеличить время работы оборудования. Так машины, управляемые дистанционно, могут начинать доставку руды из забоя немедленно после взрыва, не дожидаясь удаления газов из рабочей зоны, работать во время обеденных перерывов и пересмен, в ночные часы - 22 часа в сутки вместо 11 при ручном управлении;
- возможность работы в сейсмически опас-

ных зонах;

- уменьшить количество персонала; один оператор может управлять 3-4 машинами;

- улучшить условия труда операторов, которые не подвергаются воздействию шума, вибрации и других вредных факторов, так как находят-

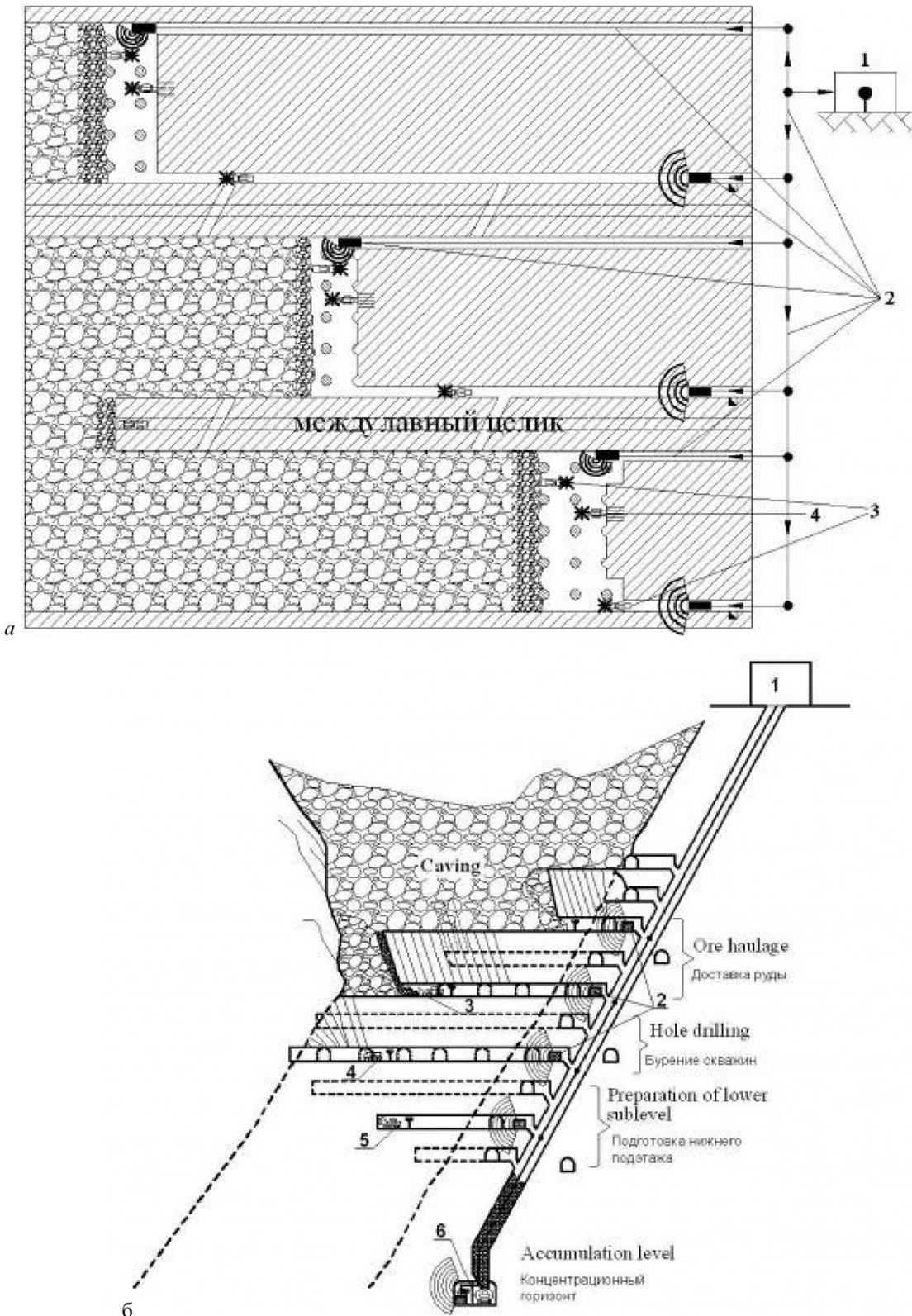


Рис. 5. Схема управления подземными самоходными машинами с дневной поверхности: а – система разработки «лава-этаж»; б – технология подэтажного обрушения с площадно-торцевым выпуском руды; 1 – пункт управления (оператор на поверхности); 2 – автоматизированные, телекоммуникационные и полуавтономные коммуникационные системы; 3 – погрузочно-доставочные машины; 4 – буровая машина на очистной выемке; 5 – буровая машина на проходческих работах; 6 – пункт погрузки

ся в комфортных условиях вдали от места производства работ.

Вместе с тем, освоение автоматизированных систем для буровых и погрузочно-доставочных машин приведет к трудностям, связанным:

- с увеличением капиталовложений, сроков окупаемости;
- с необходимостью привлечения зарубежных специалистов;
- с ограниченностью ведения других видов горных работ на участке работы автоматизированной машины и необходимостью изоляции дан-

ного участка;

- с появлением вероятности потери дорогостоящей техники при работе в камере от внезапных обрушений горных пород.

В связи с изложенным реализация зарубежных интегрированных управляющих систем горными процессами и оборудованием на отечественных рудниках в полной мере позволит решить ключевые проблемы безопасности труда и конкурентоспособности продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фрейдин А.М. Повышение эффективности подземной разработки рудных месторождений Сибири и Дальнего Востока / А.М. Фрейдин, В.А. Шалауров, и др. – Новосибирск: Наука, 1992.*
2. *Мировой опыт автоматизации горных работ на подземных рудниках / В.Н. Опарин, Е.П. Русин, А.П. Тапсиев, А.М. Фрейдин, Б.П. Бадтиев; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт горного дела. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 99 с.*
3. *Конюх В.Л. Шахтная робототехника. – Кемерово: Кузбассвязиздат, 2000. – 336 с.*
4. *Панков В.А., Невидомский В.А., Громатный В.М., Джержинский В.А. Комплексное оснащение горного производства современной техникой // Глюкауф, №3, 2005, с. 60-63.*
5. *Богданов М.Н., Горбунов С.П., Бадтиев Б.П. Техническое перевооружение и модернизация горного производства. // Цветные металлы. – 2005. – № 10.*
6. *Патент РФ № 1606667. Способ управления давлением // Фрейдин А.М., Какойло В.Н., Шалауров В.А., и др. – опубл. в БИ, 1990, № 42.*
7. *Современные способы разработки рудных залежей с обрушением на больших глубинах / А.М. Фрейдин, А.А. Неверов, С.А. Неверов, П.А. Филиппов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт горного дела. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 151 с.*
8. *Mining Science and Technology, GUO & Golosinski (eds) © 1996 Balkema, Rotterdam. ISBN № 9054108258 // Proc. Of the 96 Int. Symp. On mining Sci. And technology /Xuzhou/Jiansu/China/ 16-18 Oct. 1996.*
9. *Proceedings Third International Symposium on Mine Mechanization and Automation. Vol. 1, 2 // Golden , Colorado, June 12-14, 1995 / eds. Levent Ozdemir, Kanaan Hanna.*
10. *Wagner H. Mining technology for surface and underground mining – evolving trends // Mining in the 21st century. Quo vadis – Proceedings of the 19th World Mining Congress, 2003, New Delhi, India. – Pp.35-50.*
11. *Appelgren J. Remote control and navigation systems // Mining and Construction. – 2003. – No.3. – Pp. 16-19.*
12. *Lindqvist P.-A. Automation and remote control of mining operations in some Swedish mines. – (manuscript). – Lulea University of Technology. – 2005. – 7 p.*
13. *Woof M. Boom time // World Mining Equipment. –2005. –Vol.29. – No.1. –Pp.8-10.*
14. *Swart C. Automation Info Presentation for Norilsk. – Презентация разработок Atlas Copco в области автоматизации подземного оборудования.*
15. *Рекламно-технические описания подземного горного оборудования фирмы Atlas Copco.*
16. *OreSpex – Iron Ore Quality Directly from Trains at the LKAB Mine // <http://www.mining-technology.com/contractors/>*
17. *Automatic bit changing for Simba // Mining and Construction. – 2005. – No.1. – P.27.*
18. *LKAB. Kiruna iron ore mine, Sweden. – <http://www.mining-technology.com/projects/kiruna/>*
19. *LKAB. Malmberget iron ore mine, Sweden. – <http://www.mining-technology.com/projects/>*
20. *World-class Process Management – LKAB. – 2004. – 8 p.*
21. *Mechanized Bolting at Zinkgruvan. – <http://www.tunnelbuilder.com/facedrilling/textemail2.htm>*
22. *Pyhäsalmi mine of Inmet Mining Co. (Canada). – <http://www.inmetmining.com/operations>.*
23. *Inmet Corporation and Pyhäsalmi Mine. — Презентационные материалы рудника Pyhäsalmi*
24. *ABB Mine Hoisting System at Pyhäsalmi Mine.— Презентационные материалы фирмы ABB*
25. *Underground Mining Methods. – Технический справочник Atlas Copco*
26. *AutoMine General Presentation. – Презентационные материалы фирмы Sandvik Tamrock*
27. *Going underground at Kemi // Mining and Construction. – 2003. – No.1. – Pp.4-7*
28. *Atlas Copco International. Products for Coal and Soft Rock Mining. Stockholm. 2004.*

Авторы статьи:

Неверов
Александр Алексеевич
- канд.техн..наук.,
научный сотрудник
Института горного дела СО РАН
e-mail: neverovaa_79@mail.ru

Неверов
Сергей Алексеевич
- канд.техн..наук.,
научный сотрудник
Института горного дела СО РАН
e-mail: neverovaa_79@mail.ru