

УДК 622.271.693.68.241

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**Аброськин Александр Сергеевич,**

соискатель кафедры управления промышленными предприятиями
Национального исследовательского Иркутского государственного
технического университета, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.
E-mail: abroskin_38@mail.ru

В статье дан обзор истории создания средств автоматизации и роботизации горнотранспортного оборудования, разобран принцип функционирования таких технологий, как «Карьер» и «Интеллектуальный карьер», произведен расчет экономического эффекта работы технологии «Интеллектуальный карьер». Проведенный анализ существующих систем автоматизации открытых горных работ и тенденций развития технологий управления показал, что создание роботизированных систем является наиважнейшей задачей развития открытых горных работ как для горнодобывающих предприятий России, так и для экономики РФ в целом.

Цель работы: обоснование целесообразности использования первой российской системы безлюдной добычи полезных ископаемых. Проведение анализа тенденций развития автоматизированных технологий добычи на горных предприятиях. Обоснование научно-методических принципов и этапов реализации роботизированной системы. Проведение оценки экономической эффективности использования роботизированных систем на открытых горных работах.

Методы исследования. В работе использованы методы системного, структурно-функционального и факторного анализа, научного обобщения, математической статистики, натурного эксперимента, математического моделирования технико-экономических показателей работы роботизированной системы грузоперевозок.

Результаты. Проведено технико-экономическое обоснование использования роботизированной системы при открытой добыче полезных ископаемых. Обоснование научно-методических принципов и этапов создания роботизированной системы добычи на горных предприятиях. Проведен анализ современного состояния, перспектив и общих тенденций развития автоматизированных систем управления горно-транспортным комплексом. Дано заключение, что создание роботизированных систем грузоперевозок обеспечит безопасность открытых горных работ, повышение эффективности и производительности труда, даст возможность добычи полезных ископаемых в труднодоступных регионах со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями.

Ключевые слова:

Спутниковая навигация, горное дело, диспетчеризация, роботизация, бортовая система, программное обеспечение, интеллектуальный карьер, экономический эффект.

Преобладающим направлением развития мировой горной промышленности в ближайшей перспективе считается открытый способ разработки месторождений, обеспечивающий наилучшие экономические показатели. На долю открытого способа добычи в рудниках, на карьерах и разрезах приходится свыше 80 % мировой горной продукции, в США – 83 %, в странах СНГ – около 70 %. В России открытым способом добывается 91 % железных руд, более 70 % руд цветных металлов, более 60 % угля. При этом происходит увеличение глубины и масштабов открытых горных работ как в нашей стране, так и за рубежом (см. таблицу) [1, 2, 3].

Дальнейшее эффективное развитие открытых горных работ в значительной степени зависит не только от применения новых разнообразных видов горного и транспортного оборудования, но и от ускоренной разработки и широкого внедрения на карьерах современных автоматизированных систем управления горнотранспортными комплексами с использованием спутниковой навигации.

Информационные компьютерные технологии стали широко применяться в горнодобывающей промышленности в последнее десятилетие XX в. Падение цен на металлы в этот период и, как следствие этого, экономический спад в горнодобывающих отраслях промышленности явились стимулирующими факторами к развитию и внедрению на горных предприятиях информационных технологий для плани-

рования и управления производством. Главная цель внедрения таких технологий состояла в повышении эффективности работы горного предприятия за счет улучшения организации производства, оптимизации ведения горных работ, минимизации затрат и потерь на всех этапах добычного цикла и снижения таким образом себестоимости конечной продукции. Так совпало, что в начале 90-х годов, а именно после операции «Буря в пустыне», разработанные ранее для военных целей системы глобального позиционирования (GPS) стали доступны для гражданского применения. Горная промышленность стала одной из первых отраслей эффективного применения навигационных технологий для задач мониторинга и диспетчеризации мобильного оборудования карьеров. Внедрение системы диспетчеризации позволило горным компаниям повысить на 10–15 % общую производительность предприятия и тем самым несколько смягчить последствия экономического спада в добывающих отраслях.

На сегодняшний день все более актуальным становится вопрос применения GPS-технологий в различных производственных процессах. С развитием промышленности в различных отраслях производства возрастает потребность контроля производственного процесса в реальном времени, что, в свою очередь, дает возможность принятия своевременных решений, направленных на улучшение результатов работы [4].

Но как показывает практика, в некоторых отраслях этот вопрос актуален из-за высокой потребности в качественных натурных GPS-измерениях, съемках и наблюдениях высокой точности. Особо остро этот вопрос стоит в тех отраслях, где GPS-наблюдения считались неприемлемыми, например открытые горные работы повышенной глубины. В условиях глубокого карьера прием спутникового сигнала зачастую оказывается затруднен, что может замедлить или остановить работу систем управления горнодобычным оборудованием.

Также необходимо отметить, что проблемой глубоких карьеров является ухудшающиеся горно-геологические и горнотехнические условия разработки месторождений (необходимость работы вблизи высоких откосов уступов, сложность проведения и др.), осложняющие технологические процессы выемки и транспортировки горной массы и оказывающие негативное воздействие на людей [5]. Воздействие вредных факторов производства на персонал, обслуживающий экскаваторно-автомобильный комплекс, на 52,8 % неустранимо в силу сочетания особенностей технологического процесса и климата, при этом определяющим фактором является вибрация. Наиболее часто подвержены профессиональным заболеваниям водители большегрузных самосвалов (59,9 %) и машинисты экскаваторов (15,1 %) [6–8].

Возрастание интенсивности производственных процессов, усложнение условий работы технологического транспорта, ужесточение требований к охране труда и промышленной безопасности, к охране окружающей среды и освоению недр обуславливает необходимость внедрения на горных предприятиях высокоэффективных технологий добычи полезных ископаемых – малолюдных, а в перспективе и безлюдных. Переход к таким технологиям является перспективным не только с точки зрения безопасности, но и снижения издержек, связанных с созданием комфортных и безопасных условий труда [9, 10].

Технологии открытых горных работ включают четыре основных связанных между собой последовательных технологических этапа: 1) подготовка пород к выемке; 2) выемочно-погрузочные работы; 3) перемещение (транспортирование) горной массы; 4) разгрузка и складирование горной массы [11–13].

Все современные зарубежные системы управления на горных работах основаны на использовании спутниковой навигации. Начиная с 2009 г. была запущена в эксплуатацию аналогичная, но более точная российская система спутниковой навигации – ГЛОНАСС.

В настоящее время на российском рынке в сфере автоматизации управления горнотранспортными комплексами работают как отечественные фирмы («ВИСТ Групп», «Союзтехноком», «Промтех» и др.), так и зарубежные («Modular» (США), «Wenco» (Канада), «Micromine» (Австралия) и др.)

Таблица. Самые глубокие карьеры в мире

Table. Deepest mines in the world

Название Name	Местоположение Location	Глубина, м Depth, m	Размер, км·км Size, km·km	Добываемое полезное ископаемое Minerals recovered
Эскондидо Нотр Escondido Notr	Чили Chile	500	1,6-1,4	Медь, золото, серебро Copper, gold, silver
Ковдорский ГОК Kovdorsky GOK	Россия Russia	500	2,3-1,6	Железная руда, апатит, бадделейт Iron stone, apatite, baddeleyite
Бату-Худжау Batu Hijau	Индонезия Indonesia	550	2,5-2,2	Золото, медь Gold, copper
Сибайский карьер Sibay quarry	Россия Russia	600	2,0-2,0	Медь, цинк, сера Copper, zink, sulfur
Мурунтау Muruntau	Узбекистан Uzbekistan	600	3,5-2,5	Золото Gold
Эскондидо Escondido	Чили Chile	620	3,8-2,7	Медь, золото, серебро Copper, gold, silver
Удачный Udachny	Россия Russia	640	1,7-1,3	Алмазы Diamonds
Палабора Palabora	ЮАР Republic of South Africa	700	1,9-1,7	Медь Copper
Чукикамата Chuquicamata	Чили Chile	850	4,3-3	Медь, золото, серебро, рений, селен Copper, gold, silver, rhenium, selenium
Бингем Каньон Kennecott Bingham Canyon Mine	США USA	1200	4-3,8	Медь, молибден, золото Copper, molybdenum, gold

Особенностью зарубежных автоматических систем управления горнотранспортными комплексами (АСУ ГТК), применяемых на открытых горных работах, является то, что они разрабатывались с широким использованием средств вычислительной техники, а в качестве алгоритма оптимального управления грузоперевозками использовались решения на ЭВМ задач назначения с применением теории линейного и динамического программирования. Для обеспечения оперативной связи диспетчера с водителями автосамосвалов в системах широко используется радиосвязь [14].

Объектом управления в автоматических системах автоматизации в нашем случае являются горнотранспортные комплексы, представляющие собой лишь часть, но наиболее важную, общей технологической системы карьера. Здесь ГТК включает в себя погрузочные средства (экскаваторы), транспортные средства (автосамосвалы, локомотивосоставы), вспомогательную технику (бульдозеры, ковшовые погрузчики) и дорожно-строительную технику (грейдеры, скреперы). В состав ГТК входят также карьерные дороги, отвалы вскрышных пород, перегрузочные пункты, внутрикарьерные или вскрышные склады полезного ископаемого.

Таким образом, в структуре ГТК можно выделить две основные части – мобильную и стационарную.



Рис. 1. Структура роботизированной системы на горном предприятии

Fig. 1. Structure of the robotic system at a mining enterprise

ную, причем последнюю часть можно считать условно стационарной, так как дороги и отвалы меняют свое положение в пространстве по мере отработки карьера. Однако для управления их можно считать стационарными.

Принципы создания роботизированных систем заключаются в модернизации элементов существующих АСУ ГТК на горных предприятиях, а именно бортовых систем, систем передачи данных, позиционирования и навигации, программного обеспечения.

Основными компонентами системы являются (рис. 1):

- оборудование мобильных объектов (автосамосвалов, экскаваторов, бульдозеров, погрузчиков, локомотивов и т. п.), включающее интеллектуальную панель ИП-01 с сенсорным дисплеем, оборудование системы передачи данных (роутер, кабельные линии связи и др.), навигационный блок на основе приемника GPS/ГЛОНАСС, систему контроля загрузки с интегрированной системой контроля давления в шинах, различные датчики (уровня топлива, давления в системе пневмоподвески, в гидравлической системе и др.);
- широкополосные системы передачи данных (Motorola MESH, Wi-Fi, Интернет и др.);
- оборудование диспетчерского центра, административных зданий, удаленных пользователей и т. п.;
- рабочих мест пользователей;
- программное обеспечение.

В странах СНГ и ближнего зарубежья лидером по числу внедрений является система диспетчеризации горнотранспортного комплекса «Карьер», которая была разработана компанией «Вист Групп» в рамках соглашения о стратегическом партнерстве с РУПП «Белорусский автомобильный завод» и внедряется на горных предприятиях с 1999 г.

Основные компоненты АСУ ГТК «Карьер» и их функции (рис. 2):

- бортовая система – представляет собой совокупность аппаратно-программных средств, которые осуществляют управление карьерной техникой, а также сбор навигационной и телеметрической информации о состоянии узлов и агрегатов и передачу информации в диспетчерский центр;
- система навигации GPS/ГЛОНАСС – обеспечивает определение координат и скорости карьерной техники;
- система передачи данных – обеспечивает прием-передачу телеметрической информации и управляющих воздействий, аудио-, визуальной и аварийной информации, а также навигационной информации: скорости и координат;
- программное обеспечение – осуществляет управление отдельными единицами карьерной техники и работой карьера в целом [15].

Стоит заметить, что система диспетчеризации «Карьер» явилась отправной базовой технологией для создания современной автоматизированной (в перспективе роботизированной) системы управления ГТК «Интеллектуальный карьер».

Функционирование системы «Интеллектуальный карьер» происходит через взаимодействие ее основных блоков:

1. Бортовое оборудование – позволяет осуществлять управление карьерной техникой, сбор навигационной и телеметрической информации о состоянии узлов, агрегатов самосвала и осуществлять передачу информации в диспетчерский центр.

Бортовое оборудование состоит:

- из бортового комплекса для осуществления дистанционного управления техникой;
- системы распознавания препятствий и предотвращения столкновений;

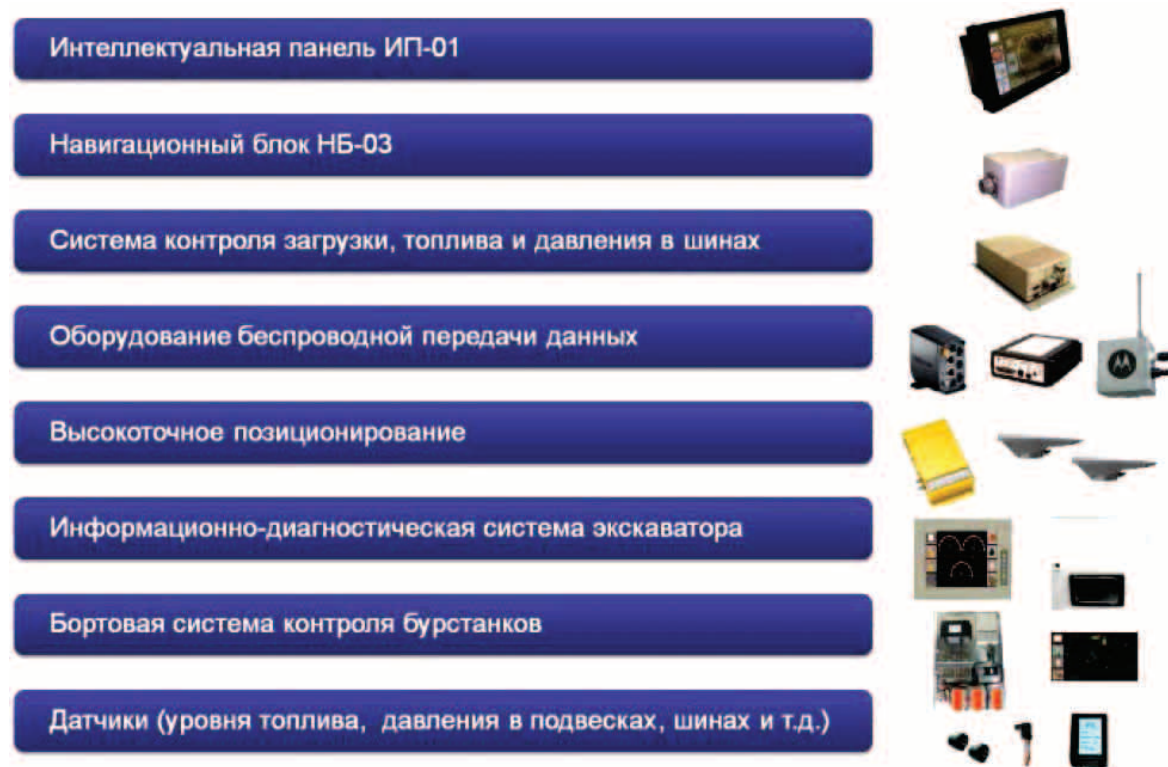


Рис. 2. Состав бортовых систем и оборудования АСУ ГТК «Карьер»

Fig. 2. Composition of the board systems and SCC «Mine» equipment automation

- центрального управляющего бортового компьютера для решения задач управления техникой и согласования бортовых программных систем.
- 2. Система навигации – обеспечивает определение координат и является высокоточной для всего парка карьерной техники и инерциальной, т. е. автономной, не требующей наличия внешних сигналов.
- 3. Система передачи данных – обеспечивает прием и передачу телеметрической информации и управляющих воздействий. Для этого используются широкополосные высокоскоростные системы передачи данных (MESH, Wi-Fi, WiMAX) и создаются дублирующие и резервные каналы связи для управления техникой.
- 4. Программное обеспечение – осуществляет управление отдельными единицами карьерной техники и в целом работой карьера.

В системе источники и потребители информации связаны между собой с помощью каналов беспроводной передачи данных. Источниками информации выступают датчики местоположения на основе навигационных приемников глобальной навигационной системы GPS/ГЛОНАСС, скорости, технического и эксплуатационного состояния узлов и агрегатов, а также цифровая модель карьера, где отображается положение объектов управления, геометрия и топология маршрутных дорог. В качестве потребителей информации выступают

диспетчерский центр и другие инженерные службы предприятия [16, 17].

Бортовое оборудование представляет собой программно-аппаратный комплекс на основе контроллера или промышленного компьютера, осуществляющий сбор, обработку и передачу в диспетчерский центр телеметрической информации о состоянии карьерной техники, в том числе навигационной и диагностической [18].

Создание системы «Интеллектуальный карьер» отражает мировую тенденцию развития горных технологий. Для России эта система обеспечит не только техническую и экономическую безопасность открытых горных работ, но и повышение эффективности горных предприятий, производительности труда, возможность добычи полезных ископаемых в труднодоступных регионах с неблагоприятными природно-климатическими условиями.

В случае роботизированной системы должно быть предусмотрено несколько независимых бортовых компьютеров (контроллеров) с соответствующими группами сенсоров, отвечающих за решение отдельных задач автоматического управления:

- бортовой комплекс для обработки данных интеллектуальной системы распознавания препятствий на основе лидаров, радаров или иных технических средств. Программное обеспечение этого компьютера (контроллера) должно

непрерывно сравнивать построенную цифровую модель с эталонной моделью, переданной из диспетчерского центра. Расхождение в моделях будет означать появление препятствий, требующих остановки техники или переход на дистанционное управление;

- бортовой комплекс для осуществления дистанционного управления техникой;
- центральный управляющий бортовой компьютер (контроллер) для решения задач управления техникой и согласования взаимодействия всех бортовых программных подсистем.

Перечисленные бортовые комплексы связаны с соответствующими сенсорными устройствами: лидарами, радиочастотными метками и считывателями, видеокамерами, навигационными приемниками, датчиками дистанционного управления, а также комплексом средств управления карьерной техникой.

Для создания роботизированной системы необходимо на все единицы техники устанавливать оборудование системы высокоточной навигации, позволяющее определять не только местонахождение техники с точностью до нескольких сантиметров, но и ее ориентацию. Важно отметить, что применение высокоточной навигации для всего парка мобильной техники карьера позволит передавать огромные массивы информации при дистанционном управлении техникой и с помощью 3D-модели карьера отображать на цифровой карте реальное положение техники и отдельных ее частей. Для этого необходимо также установить дополнительные датчики для определения положения стрелы, ковша экскаватора, передавать данные от лидаров и систем предотвращения столкновений. Диспетчер сможет управлять карьерной техникой, используя цифровую модель участков горных работ и 3D-модель взаимного расположения автосамосвала и, например, экскаватора, и обращаться к видеоизображению как к вспомогательному, а не основному.

В АСУ ГТК на все мобильные объекты устанавливается навигационное оборудование на основе навигационных приемников GPS, обеспечивающих точность в диапазоне ± 5 см. Данную точность обеспечивают стандартные навигационные приемники без станций дифференциальной поправки. Этой точности достаточно для осуществления мониторинга и управления парком горного оборудования. Высокоточными системами навигации могут оснащаться экскаваторы для осуществления селективной выемки, а также буровые станки – для наведения станка на точку бурения и автоматизированного исполнения задания по отработке плана бурения.

Для обеспечения сантиметровой точности, которая необходима для разъезда транспортных средств на технологической дороге, а также позиционирования роботизированного транспортного средства на карте во избежание коллизий и автономного движения по записанному маршруту с

учетом ширины дороги для данного типа автосамосвала осуществляется дифференциальная коррекция сигналов спутниковых систем с помощью контрольного навигационного приемника GPS, называемого базовой станцией. Базовая станция устанавливается в точке с известными географическими координатами. Сравнивая известные координаты с измеренными координатами, полученными от бортовой навигационной системы, приемник базовой навигационной станции формирует поправки, передаваемые по радиоканалу на борт в режиме RTK (от англ. Real Time Kinematic) для коррекции определения местоположения самосвала. Дифференциальные поправки передаются в формате RTCM SC-104 со скоростью не менее 2400 бит/с и задержкой не более 0,5–2 с.

На открытой местности прием сигнала осуществляется 4–12 спутниками одновременно, что обеспечивает точность позиционирования автосамосвала и движение по заданной траектории с сантиметровой точностью. В системе управления АСУ ГТК должна быть предусмотрена возможность отображения местоположения роботизированного автосамосвала на цифровой карте местности на дисплее рабочего места оператора.

Точность позиционирования зависит от ряда факторов, в том числе погрешности оборудования навигационных спутников, ошибки GPS-приемника и ошибки распространения спутникового сигнала. Источниками ошибок могут быть следующие причины [19]: недостаточное количество видимых спутников в северных широтах и глубоких карьерах; неточность эфемерид и ошибки спутниковых часов; помехи, связанные с изменением условий приема сигналов со спутников; задержка по времени в аппаратуре приемника; проблемы, связанные с питанием навигационного устройства; ионосферная и тропосферная задержка; а также помехи, связанные с переотражением сигнала в железорудных карьерах.

Для повышения надежности, непрерывности получения навигационной информации и обеспечения высокой точности автоматического движения по траектории целесообразна интеграция бортового приемника глобальной навигационной спутниковой системы с инерциальными системами навигации. Данные системы не используются в традиционных АСУ ГТК из-за высокой стоимости. Оптимально применение слабо связанной навигационной системы на основе блока бесплатформенной инерциальной системы (БИНС) и двухканального навигационного приемника GPS. Данный вариант относительно прост в реализации и позволяет использовать стандартные компоненты.

Инерциальная система обеспечивает выдачу информации об относительном перемещении роботизированного автосамосвала, в то время как приемник GPS позволяет определять его положение в глобальной системе координат. Также система характеризуется высоким темпом выдачи информации – порядка 100 Гц. Глобальная спутниковая навигационная система обладает меньшей часто-

той выдачи информации (10 Гц) и не накапливает ошибки. В итоге по данным спутниковой навигационной системы и инерциальной навигации обеспечивается удержание автосамосвала на заданной траектории движения.

Алгоритмы программного обеспечения бортового компьютера управляют контроллером для осуществления движения автосамосвала с заданной скоростью по выбранному маршруту к месту загрузки или разгрузки в автоматическом режиме на основании данных системы высокоточной спутниковой навигации, обеспечивают снижение скорости и торможение по данным системы предупреждения столкновений, а также аварийный останов.

Для обеспечения надежности определения местоположения техники необходимо использовать совместные ГЛОНАСС/GPS-сигналы, обеспечивающие заведомо большее число видимых спутников, а также сеть базовых станций дифференциальных поправок.

Для более точного и надежного определения координат, даже при кратковременном отсутствии данных от дифференциальной станции или отсутствии видимости спутников, необходимо применять системы инерциальной навигации, основанные на гироскопах. Совместное использование спутниковой и инерциальной систем навигации позволит обеспечить высокую точность определения местоположения.

В современных системах управления горно-транспортными комплексами используются различные системы беспроводной передачи данных, а также комбинации таких систем, как УКВ-связь, транкинговые системы, широкополосные системы передачи данных, сотовые системы связи. В последние годы для построения систем управления все большее применение находят широкополосные системы и технологии беспроводной передачи данных: Wi-Fi, WiMax, MESH-системы и др., обеспечивающие надежное радиопокрытие и высокую скорость, необходимую для передачи видеоизображений, диагностической информации и решения задач оперативного управления горнотранспортным комплексом.

Исходя из проведенного анализа систем связи для АСУ ГТК и объемов передачи, принципами, относящимися к системе передачи данных для создания роботизированной линии, являются:

- поддержка стандарта передачи данных 802.11n со скоростью до 300 МБит/с для осуществления удаленного управления роботизированной техникой. Помимо передачи данных управления необходимо также в режиме реального времени передавать в центр управления видеоизображения с нескольких камер от каждой единицы техники, данные от системы распознавания препятствий, навигационную и телеметрическую информацию о состоянии техники;
- резервирование каналов связи, которое обеспечивается использованием передачи данных на разных частотах.

Программное обеспечение роботизированной системы – наиболее сложная, творческая и наукоемкая интеллектуальная компонента системы. От эффективности построения и работы программного обеспечения во многом зависит эффективность системы в целом. Разработка программного обеспечения системы во многом базируется на программно-алгоритмических средствах системы автоматизированного управления и мониторинга горнотранспортного комплекса, ключевым программным модулем которой является система «Автоматической диспетчеризации» для оптимизации и оперативного управления техникой карьера.

Для достижения максимальной производительности системы необходимо, чтобы карьерная техника не останавливалась и не прекращала свою работу даже при кратковременном отсутствии связи или задержке в обработке данных на сервере. Для этого необходимо обеспечить максимальную автономность бортового оборудования, которое позволит продолжать движение или работу техники даже при кратковременном отсутствии связи с сервером.

Бортовое программное обеспечение, помимо функций управления рабочими органами карьерной техники, контроля расстояний до препятствий, распознавания препятствий, определения местоположения и ориентации, должно осуществлять безопасное движение по заранее заданному маршруту, а также обеспечить возможность разъезда с другими участниками движения без участия центрального сервера системы. Основные функции сервера: контроль безопасности движения, оповещение оператора при возникновении нештатных ситуаций, когда требуется непосредственное удаленное управление автосамосвалами и другой техникой, решение оптимизационных задач и ведение цифровой модели карьера, а также оптимизация работы ГТК.

До последнего времени горнодобывающая промышленность тратила на программные средства автоматизации всего порядка 1 % своего бюджета, причем в основном не на внедрение АСУ. Это значительно меньше, чем в других областях тяжелой промышленности. Только в настоящее время намечились тенденции к увеличению инвестиций в АСУ, в том числе в автоматизированную систему управления ГТК.

В то же время сроки окупаемости инвестиций, вложенных во внедрение АСУ ГТК, составляют от 2–3 месяцев до 1–1,5 лет. При этом повышение производительности оборудования может составлять 15–20 % и более, в зависимости от внедряемой системы, степени ее освоения персоналом, количества и состава мобильных объектов и других конкретных условий предприятия [5].

Расчет экономической эффективности внедрения системы «Интеллектуальный карьер» производился в период с 2012 по 2015 г. на разрезе Тугуйский (рис. 3).

Основные предположения при анализе эффективности:

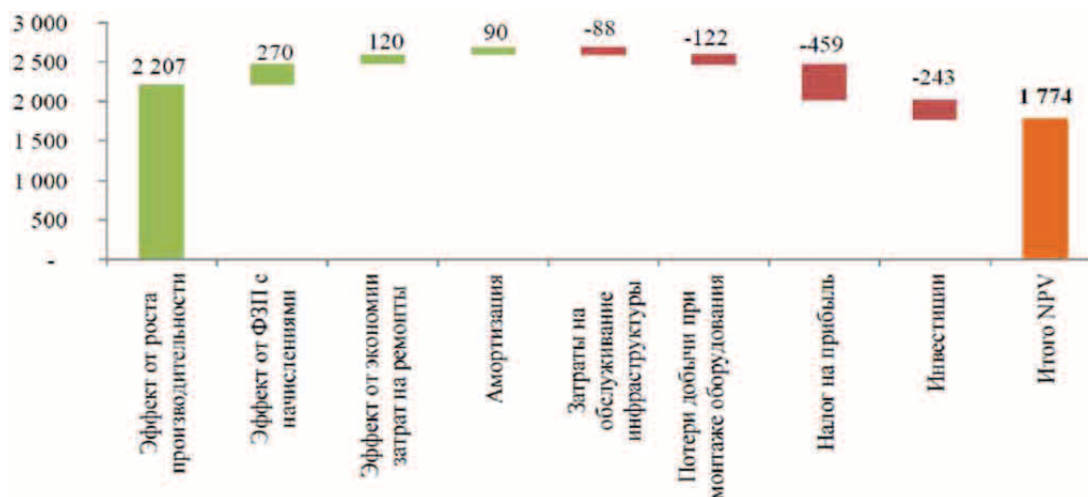


Рис. 3. Структура NPV 2012–2015 гг., млн руб.

Fig. 3. NPV structure 2012–2015, million rubles

1. Система устанавливается на весь парк горнодобывающей техники, участвующей в добыче.
2. Один оператор в диспетчерском центре контролирует работу 5 самосвалов или 5 экскаваторов.
3. Время на установку бортовой системы: самосвал – 2 суток, экскаватор – 5 суток.
4. Сотрудникам, работающим с системой, повышается заработная плата на 30 %.
5. В силу уже имеющейся развитой инфраструктуры разреза в анализе эффективности не оценивался эффект от экономии средств на строительство инфраструктуры.

Расчет эффективности системы производился в условиях отсутствия бытовых ограничений.

В данных условиях было выявлено:

- NPV в период с 2012 по 2016 г. составил 1774 млн руб.;
- наибольший эффект достигается за счет увеличения производительности разреза на 10 %;
- необходимые капитальные затраты для реализации проекта на разрезе Тугнуйский составили 292 млн руб.

В свою очередь, Д.А. Клебанов [20] показал, как затраты на создание роботизированной технологии на участке «породный бункер – отвал» разреза «Черногорский» при достижении плановых значений внедрения системы 6–9 месяцев окупаются менее чем за 2 года. Это свидетельствует об

экономической обоснованности применения роботизированных систем на данном участке.

Заключение

Разработка роботизированной системы представляет собой сложную научно-техническую задачу, решение которой связано с капитальными затратами на роботизированную технику, инфраструктуру связи, бортовое оборудование, изменение технологии и регламентов грузоперевозок, согласование проекта и технических решений в местных органах федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР).

Система «Интеллектуальный карьер», бесспорно, дает высокие расчетные показатели и имеет высокий прикладной потенциал. В расчете не учитывался такой эффект, как отсутствие необходимости строить социальную инфраструктуру для персонала, что особенно актуально для строящихся предприятий, расположенных в труднодоступных регионах с суровыми климатическими условиями.

Создание роботизированных систем грузоперевозок обеспечит безопасность открытых горных работ, повышение эффективности и производительности труда, возможность добычи полезных ископаемых в регионах со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтурин Ю.А. Современное состояние карьерного транспорта // Каталог-справочник «Горная Техника – 2005». URL: <http://probelaz.ru/ru/help/usefull/36.html> (дата обращения: 21.09.2015).
2. Бахтурин Ю.А., к.т.н., Современные тенденции развития карьерного транспорта. Семинар № 16, 2009, с. 403–414.
3. Мельников Н.Н., Козырев А.А., Лукичев С.В. Большие глубины – новые технологии // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2013. – № 4. – С. 58–66.
4. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. – М.: Картгеоцентр, 2004. – 343 с.
5. Новожилов М.Г., Селянин В.Г., Трен А.Е. Глубокие карьеры. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 318 с.
6. Зарипова С.Н. Обеспечение безопасного функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов угледобывающих предприятий: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2008. – 268 с.

7. Лобанов Н.Я., Грачев Ф.Г., Лихтерман С.С. Организация планирования и управления производством в горной промышленности: учебник для вузов. – М.: Недра, 1989. – 516 с.
8. Материалы компании Parker Bay Mining. Анализ рынка карьерной техники. URL: <http://parkerbaymining.com/mining-equipment/earthmoving-equipment.htm> (дата обращения: 14.10.2014).
9. Анистратов К.Ю. Разработка стратегии технического перевооружения карьеров // Горная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 90–104.
10. Перепелицын А.И., Китляйн Е.Е., Клебанов Д.А. Комплексная система управления промышленной безопасностью и оценки рисков на горнодобывающих предприятиях // Горный журнал. – № 7. – 2012. – С. 55–59.
11. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Производственные процессы: учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
12. Открытые горные работы: справочник. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
13. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Основы горного дела: учебник. – М.: Академический проект, 2010. – 264 с.
14. Tu J.N., Hueka V.S. Analysis of open truck haulage system by use of a computer model // CiM Bulletin. – 1985. – № 7. – P. 53–59.
15. Современные системы управления горнотранспортными комплексами / К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, А.Ф. Клебанов, Д.Я. Владимиров. – СПб.: Наука, 2007. – 344 с.
16. Brown C. Autonomous vehicle technology in mining // Autonomous Mining. – 2012. – May. – P. 30–32.
17. Miller J.E. La mise au point de dispositifs de pilotage automatique de camions de carieres // Industrie Mineral. – 1982. – V. 64. – P. 3–6.
18. Авершина Д.В. Оценка экономической эффективности внедрения автоматизированной системы «Интеллектуальный карьер» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – Номер S2. – С. 111–117.
19. Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я., Рыбак Л.В. Система диспетчеризации большегрузных самосвалов «Карьер» на разрезе «Черниговский»: структура, функциональность, экономическая эффективность // Горная промышленность. – 2003. – № 1. – С. 52–56.
20. Клебанов Д.А. Разработка технико-технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах. – М.: ИПКОН РАН, 2015. – 135 с.

Поступила 29.10.2015 г.

UDC 622.271.693.68.241

USE OF MODERN SYSTEMS OF AUTOMATION OF OPEN CAST MINING

Aleksandr S. Abroskin,

National Research Irkutsk State Technical University, 83, Lermontov Street, Irkutsk, 664074, Russia. E-mail: abroskin_38@mail.ru

The paper reviews the history of mining and transport equipment automation and robotization, operation principle of such technologies as the «Mine» and «Intelligent mine» is described, economic impact of the technology «Intelligent mine» is calculated.

The analysis of existing systems of automation of open cast mining and technology trends of management showed that the creation of robotic systems is the most important task of the development of open pit mining.

The purposes of the work are: to substantiate the need to use the first Russian system of deserted mining, to analyze the trends in the development of automated production technologies in mining enterprises, to justify scientific and methodological principles and stages of the robotic system implementation, to assess economic efficiency of robotic systems implementation at open cast mining.

Research methods: methods of system, structural-functional and factor analysis, scientific analysis, mathematical statistics, natural experiment, mathematical modeling of technical and economic performance of the robotic system transportation.

Results. The authors conducted a feasibility study on the use of a robotic system for open pit mining, justified scientific and methodological principles and steps of creation of a robotic production system at mining enterprises, determined that the creation of robotic transport systems will ensure the safety of open mining operations and the improvement of efficiency and productivity and will also allow mining in difficult natural and climatic regions with the difficult geological and mining conditions.

Key words:

Satellite navigation, mining, scheduling, robotics, on-board system, software, intelligent mine, economic effect.

REFERENCES

1. Bakhturin Yu.A. Sovremennoe sostoyanie karernogo transporta [The current state of quarry transport]. *Business Directory «Mining Equipment – 2005»*, URL: <http://probelaz.ru/ru/help/us-efull/36.html> (accessed 21 September 2015).
2. Bakhturin Yu.A. Sovremennye tendentsii razvitiya karernogo transporta [Current trends of quarry transport]. *Seminar* № 16, 2009, pp. 403–414.
3. Melnikov N.N., Kozyrev A.A., Lukichev S.V. Bolshie glubiny – novye tekhnologii [The depth – new technologies]. *Bulletin of the Kola Scientific Center RAS*, 2013, no. 4, pp. 58–66.
4. Genike A.A., Pobedinskiy G.G. *Globalnye sputnikovye sistemy opredeleniya mestopolozheniya i ikh primeneniye v geodezii* [Global satellite positioning systems and their application in geodesy]. Moscow, Kartgeotsentr Publ., 2004. 343 p.
5. Novozhilov M.G., Selyanin V.G., Tren A.E. *Glubokie karery* [Deep mines]. Moscow, Gosgortekhzizdat Publ., 1962. 318 p.
6. Zaripova S.N. *Obespechenie bezopasnogo funktsionirovaniya ekskavatorno-avtomobilnykh kompleksov ugledobyvayushchikh predpriyatiy*. Dis. Dokt. nauk [Ensuring safe operation of excavator-automobile complexes of the coal mining enterprises. Dr. Diss.]. Kemerovo, 2008. 268 p.

7. Lobanov N.Ya., Grachev F.G., Likhтерman S.S. *Organizatsiya planirovaniya i upravleniya proizvodstvom v gornoy promyshlennosti* [Organization of planning and management in the mining industry]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 516 p.
8. *Materialy kompanii Parker Bay Mining. Analiz rynka karernoy tekhniki* [Market analysis of mining equipment]. Available at: <http://parkerbaymining.com/mining-equipment/earthmoving-equipment.htm> (accessed 14 October 2014).
9. Anistratov K.Yu. Razrabotka strategii tekhnicheskogo perevozoruzheniya karerov [Development strategies of technical rearmament of quarries]. *Mining*, 2012, no. 4, pp. 90–104.
10. Perepelitsyn A.I., Kitlyayn E.E., Klebanov D.A. Kompleksnaya sistema upravleniya promyshlennoy bezopasnostyu i otsenki riskov na gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh [A comprehensive system of industrial safety and risk assessment at the mining enterprises]. *Mining Journal*, 2012, no. 7, pp. 55–59.
11. Rzhavskiy V.V. *Otkrytye gornye raboty. Proizvodstvennyye protsessy* [Open pit mining. Production processes]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 509 p.
12. *Otkrytye Gornye Raboty* [Open Pit Mining]. Moscow, Gornoe byuro Publ., 1994. 590 p.
13. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. *Osnovy gornogo dela* [Basics of mining]. Moscow, Akademicheskii proekt Publ., 2010. 264 p.
14. Tu J.N., Hueka V.S. Analysis of open truck haulage sistem by use of a computer model. *CiM Bulletin*, 1985, no. 7, pp. 53–59.
15. Trubetskoy K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. *Sovremennyye sistemy upravleniya gorno-transportny-mi kompleksami* [Modern control systems of mining transport complex]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2007. 344 p.
16. Brown C. Autonomous vehicle technology in mining. *Autonomous Mining*, 2012, May, pp. 30–32.
17. Miller J.E. La mise au point de dispositifs de pilotage automatique de camions de carrieres. *Industrie Mineral*, 1982, vol. 64, pp. 3–6.
18. Avershina D.V. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti vnedreniya avtomatizirovannoy sistemy «Intellectualnyy karer» [Evaluation of the economic efficiency of the automated system of «Intelligent mine»]. *Mountain information-analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. S2, pp. 111–117.
19. Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya., Rybak L.V. Sistema dispetcherizatsii bolshhegruznykh samosvalov «Karer» na razreze «Chernigovskiy»: struktura, funktsionalnost, ekonomicheskaya effektivnost [The system of dispatching large trucks «Mine» in the section «Chernigov»: structure, functionality, cost effectiveness]. *Mining*, 2003, no. 1, pp. 52–56.
20. Klebanov D.Ya. *Razrabotka tekhniko-tekhnologicheskikh resheniy po sozdaniyu i primeneniyu robotizirovannykh sistem gruzoperevozok na otkrytykh gornykh rabotakh* [Development of technical and technological solutions for the creation and use of robotic systems of cargo at open cast mining]. Moscow, IPKON RAS Press, 2015. 135 p.

Received: 29 October 2015.