

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

На правах рукописи

Клебанов Дмитрий Алексеевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО
СОЗДАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**

**Специальность 25.00.22 – Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)**

**Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель: академик РАН, К.Н. Трубецкой

МОСКВА – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ АТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	9
1.1. Важнейшие особенности организации производства и управления при ведении открытых горных работ	9
1.2. Современные системы управления горно-транспортным комплексом и основные тенденции их развития и модернизации	15
1.3. Анализ тенденций применения дистанционно-управляемых и роботизированных карьерных автосамосвалов	30
1.4. Развитие бортовых систем диагностики и контроля карьерных автосамосвалов как технической основы оптимизации роботизированных систем грузоперевозок.....	36
1.5. Цели, задачи и методы исследования	40
ГЛАВА 2. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ	42
2.1. Научно-методические принципы и основные этапы реализации создания роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии.....	42
2.2. Технические и технологические условия создания роботизированной системы грузоперевозок на открытых горных работах	52
2.3. Выводы по второй главе.....	57
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ И РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЯ АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА КАК ЭЛЕМЕНТА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ	58
3.1. Архитектура программного обеспечения и алгоритм движения роботизированного и дистанционно-управляемого карьерного автосамосвала	58
3.2. Структурная схема дистанционного управления карьерным автосамосвалом	61
3.3. Структурная схема автономного управления карьерным автосамосвалом	64
3.4. Перспективные решения по модернизации конструкции роботизированного автосамосвала.....	70
3.5. Выводы к третьей главе.....	71

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	73
4.1. Общие требования к организации технологической инфраструктуры роботизированной системы грузоперевозок.....	73
4.2. Обеспечение безопасности при создании роботизированной системы грузоперевозок на горных предприятиях.....	81
4.3. Технологические требования и методика оценки качества технологических дорог для роботизированных систем грузоперевозок.....	87
4.4. Модель оптимизация работы и автоматической диспетчеризация роботизированных автосамосвалов.....	95
4.5. Методика тестирования роботизированных систем грузоперевозок и проведение испытаний на полигоне ОАО «БЕЛАЗ».....	102
4.6. Выводы по четвертой главе.....	108
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	110
5.1. Факторы повышения производительности техники и эффективности выполняемых работ, оценка целесообразности использования роботизированных систем грузоперевозок.....	110
5.2. Проектные решения по созданию роботизированной системы грузоперевозок на участке «породный бункер-отвал» разреза «Черногорский» (ОАО «СУЭК-Хакассия»).....	115
5.3. Оценка экономической эффективности роботизированной системы грузоперевозок для условий разреза «Черногорский» (ОАО «СУЭК-Хакассия»).....	127
5.4. Выводы по пятой главе.....	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	133
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы:

Добыча полезных ископаемых с каждым годом ведется все в более сложных и опасных горно-геологических и климатических условиях. Разработка месторождений в условиях Крайнего Севера, пустынных и горных регионах с недостаточно развитой социальной инфраструктурой существенно осложняет участие человека в технологических процессах добычи полезных ископаемых, создает проблемы поиска высококвалифицированного персонала.

Этот факт отражен, в частности, и в долгосрочной программе развития угольной отрасли до 2030 года, где решающим фактором сохранения рентабельности и конкурентоспособности для подавляющего числа действующих угледобывающих предприятий остается проведение технической модернизации на основе новейших инновационных технологий, которая позволит также решить задачи снижения энергоемкости производства (сегодня она превышает в 2-3 раза показатели ведущих стран), экологической и промышленной безопасности, а также важнейшую проблему угольной отрасли – нехватку квалифицированных кадров, возможность добычи и разработку угольных месторождений в труднодоступных по природным и климатическим условиям местах. [73]

Поэтому важнейшим направлением инновационного развития угольной промышленности является разработка технологий безлюдной выемки и транспортировки угля с применением современных программно-аппаратных комплексов, интегрированных в общую систему управления горнодобывающим предприятием. Справедливо утверждать, что указанные факторы сохранения рентабельности и конкурентоспособности имеют решающее значение и в целом для всей горнодобывающей промышленности. В этих условиях особую значимость приобретает проект «Интеллектуальный карьер», то есть создание системы автоматизированной и роботизированной добычи полезных ископаемых, обеспечивающей такую степень автоматизации горно-транспортного оборудования, при которой горная техника частично или полностью работает без водителей и операторов. При этом управление осуществляется как минимум дистанционно, а в общем случае – полностью автоматически. Реализация проекта «Интеллектуальный карьер» гарантирует повышение производительности и безопасности открытых горных работ за счет удаления человека из опасной зоны, эффективности открытых горных работ за

счет устранения простоев, связанных с человеческими факторами, управления техникой в оптимальных режимах, а также автоматической оптимизации грузопотоков в карьере и других производственных процессов.

Межведомственная секция Научного совета РАН по проблемам горных наук «Интеллектуальное горное предприятие» определило указанный проект как одно из важнейших направлений инновационного развития горной отрасли и этот проект также поддержан в 2013 году Грантовым комитетом фонда «Сколково» [40].

В развитии направления роботизации скрыты наибольшие резервы повышения эффективности и безопасности горного производства. Внедрение безлюдных роботизированных технологий добычи кардинальным образом изменяет систему организации производства и труда на горнодобывающем предприятии и стимулирует появление новых современных технологий управления процессами добычи и переработки полезных ископаемых (в частности, внедрение безлюдных роботизированных геотехнологий), причем на базе отечественных разработок.

Все это предопределяет актуальность научных работ в области разработки и применения **роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах** - технологий транспортировки горной массы с использованием дистанционно-управляемой и роботизированной карьерной техники, как важнейшего этапа создания безлюдных геотехнологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых.

Важно отметить, что создание таких геотехнологий будет способствовать ускоренному развитию современных высоких технологий в области высокоточной спутниковой навигации ГЛОНАСС и программного обеспечения, а также робототехники и промышленной электроники, что, безусловно, приведет к укреплению научного и инженерного потенциала России.

Цель работы состоит в разработке и обосновании научно-технических и технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах.

Основная идея диссертационной работы заключается в создании и применении роботизированных транспортных систем грузоперевозок для оптимизации движения автосамосвалов по маршруту в соответствии с горно-геологическими условиями, производственным заданием и требованиями безопасности.

Для реализации целей проекта «Интеллектуальный карьер», а также разработки технико-технологических требований и решений для создания роботизированной транспортной системы грузоперевозок на горных предприятиях в диссертации решены следующие задачи:

- проведение анализа тенденций развития автоматизированных транспортных технологий грузоперевозок на горных предприятиях;
- обоснование научно-методических принципов и этапов реализации роботизированной системы грузоперевозок;
- разработка технических решений и требований для дистанционного и автономного управления карьерными автосамосвалами;
- разработка методики тестирования работы роботизированного карьерного автосамосвала в условиях полигона и горнодобывающего предприятия, проведение испытаний на полигоне завода ОАО «БЕЛАЗ»;
- разработка и обоснование технологических решений для организации роботизированных грузоперевозок на горном предприятии;
- проведение оценки экономической эффективности использования роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах, разработка проектных решений по созданию и применению роботизированной системы грузоперевозок для условий ОАО «СУЭК-Хакасия».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Научно-методические принципы создания роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах, заключающиеся в обосновании направлений развития и модернизации основных программно-аппаратных компонентов (бортового оборудования, систем связи и навигации, программного обеспечения) автоматизированных систем управления горно-транспортными комплексами (АСУ ГТК) как основы для создания безлюдных геотехнологий добычи полезных ископаемых.
2. Комплекс научно-технических и технологических требований, решений для создания дистанционно управляемых и роботизированных карьерных автосамосвалов и систем грузоперевозок на открытых горных работах, включающих требования к бортовому оборудованию, программному обеспечению, безопасности и организации роботизированных грузоперевозок.
3. Математическая модель оптимизации и автоматической диспетчеризации работы роботизированных карьерных автосамосвалов, включенных в единую АСУ ГТК горного предприятия, позволяющая производить расчёт

оптимальных маршрутов движения роботизированных автосамосвалов с учетом изменения внешних факторов движения, таких как перекрытие участка дороги, поломка одного из экскаваторов, корректировка плана грузоперевозок, изменение количества автосамосвалов на линии.

4. Методика тестирования роботизированных систем грузоперевозок на полигоне, включающая полный цикл ключевых технологических элементов работы роботизированного автосамосвала на открытых горных работах.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций обусловлена представительным объемом исходных данных, экспериментальной проверкой разработанных технико-технологических решений в условиях заводского полигона ОАО «БелАЗ», а также использованием в работе широко апробированных методов математической статистики, моделирования процессов геотехнологий и робототехники.

Научное значение работы заключается в:

- обосновании научно-методических принципов и этапов создания роботизированных систем грузоперевозок на горных предприятиях и разработке архитектуры программного обеспечения, определяющего функциональность проектных решений;
- разработке математической модели оптимизации и автоматической диспетчеризации роботизированных карьерных автосамосвалов.
- разработке методики тестирования роботизированных транспортных систем грузоперевозок и проведении заводских испытаний дистанционно управляемого и автономного карьерного автосамосвала БелАЗ – 75131 с электромеханической трансмиссией на полигоне ОАО «Белорусский автомобильный завод»;

Практическое значение работы состоит в:

- разработке технико-технологических решений для дистанционного и автономного управления роботизированным карьерным автосамосвалом;
- проведении технико-экономического обоснования использования роботизированной транспортной системы грузоперевозок при открытой добыче полезных ископаемых;
- разработке метода автоматизированного контроля качества технологических дорог в условиях действующего карьера, базирующегося на анализе информации от инклинометров, датчиков давления в подвеске;

– разработке технического проекта роботизированных транспортных систем грузоперевозок на разрезе Черногорский ОАО «СУЭК-Хакассия».

Реализация выводов и рекомендаций работы

Основные результаты диссертационной работы нашли применение в плановых проектно-конструкторских разработках компании ОАО «ВИСТ Групп» на 2011-2015 гг. по разработке автоматизированных систем управления роботизированными комплексами для реализации проекта «Интеллектуальный карьер» и использованы в техническом проекте роботизированных технологий грузоперевозок в ОАО «СУЭК-Хакассия».

Научно-практическая новизна и личный вклад автора состоят в обосновании научно-методических принципов и этапов создания роботизированных систем грузоперевозок и разработке комплекса технико-технологических решений по их опытно-промышленным испытаниям и применению на открытых горных работах.

Апробация работы. Основные положения и результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались на Международных конференциях: «Российский рынок угля 2011» (Москва, 2011), «Энергетическая эффективность на предприятиях ГМК и промышленности» (Москва, 2012), «Рынок угля 2012: инфраструктура, экспорт, вызовы и перспективы» (Москва, 2012), а также на международных форумах «Роснанофорум» (Москва, 2011) и «Digital Mining SAP Conference» (ЮАР, Йоханнесбург, 2013), Совещании заместителя председателя правительства Республики Саха (Якутия) (Якутск 2013), международной научной конференции и форуме по спутниковой навигации Навитех-2014, научном симпозиуме «Неделя Горняка» (Москва, 2013, 2014, 2015), совещании у заместителя министра промышленности РФ на выставке «Иннопром 2014» (Екатеринбург 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 научных статей, в том числе 8 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 106 наименований, изложена на 145 страницах и содержит 64 рисунков и 9 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ АТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

1.1. Важнейшие особенности организации производства и управления при ведении открытых горных работ

Преобладающим направлением развития мировой горной промышленности в ближайшей перспективе считается открытый способ разработки месторождений, как 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. (табл. 1) [7,8 57].

Таблица 1.1 – Характеристика глубокие карьеры в мире, России и СНГ

Название	Место-Положение	Глубина, м	Размеры, км×км	Добываемое полезное ископаемое
Эскондида Нотр (Escondida Notre)	Чили	500	1.6×1.4	Медь, золото, серебро
Ковдорский ГОК	Россия	500	2.3×1.6	Железная руда, апатит, бадделейт
Бату-Худжау (Batu Hijau)	Индонезия	550	2.5×2.2	Золото, медь
Сибайский карьер	Россия	600	2.0×2.0	Медь, цинк, сера
Мурунтау	Узбекистан	600	3.5×2.5	Золото
Эскондида (Escondida)	Чили	620	3.8×2.7	Медь, золото, серебро
Удачный	Россия	640	1.7×1.3	Алмазы
Палабора (Palabora)	ЮАР	700	1.9×1.7	Медь
Чукикамата (Chuquicamata)	Чили	850	4.3×3	Медь, золото, серебро, рений, селен
Бингем Каньон (Kennecott Bingham Canyon Mine)	США	1200	4×3.8	Медь, молибден, золото

Несмотря на использование при разработке месторождений все более мощной и производительной техники, неизбежно происходит рост себестоимости добычи полезных ископаемых в основном за счет увеличения объема выемки и транспортирования вскрышных пород. Затраты горнорудных предприятий на технологический транспорт растут при углублении карьера в опережающем темпе по сравнению с ростом затрат на извлечение руды[3]. В

настоящее время 80% всего объема транспортируемых горных пород на открытых горных работах перевозят автотранспортом, а затраты на автотранспорт составляют 60-65% от общих расходов, и при дальнейшем углублении карьеров могут превысить уровень затрат на добычу в 3-4 раза. Высокие эксплуатационные расходы включают наиболее емкие составляющие, такие как топливо и масла, шины, сменные агрегаты, поддержание дорог и т. д. В свою очередь по размеру капитальных затрат автотранспорт уступает железнодорожному и конвейерному [42,50,57,66]. На большинстве карьеров полной компенсации снижения технико-экономических показателей транспортирования горной массы с увеличением глубины разработки обеспечить не удается.

Проблемой глубоких карьеров является ухудшающиеся горно-геологические и горнотехнические условия разработки месторождений (необходимость работы вблизи высоких откосов уступов, сложность проветривания и др.), осложняющие технологические процессы выемки и транспортировки горной массы и оказывающие негативное воздействие на людей [62]. Воздействие вредных факторов производства на персонал, обслуживающего экскаваторно-автомобильный комплексы, на 52,8% неустранимо в силу сочетания особенностей технологического процесса и климата, при этом определяющим фактором является вибрация, далее – шум и охлаждающий микроклимат. Наиболее часто подвержены профессиональным заболеваниям водители большегрузных самосвалов (59,9%) и машинисты экскаваторов (15,1%) [27, 43, 54].

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, что в первую очередь относится к технологиям транспортирования горной массы. Переход к таким технологиям является перспективным не только с точки зрения безопасности, но и снижения издержек, связанных с созданием комфортных и безопасных условий труда [4, 52].

Технологии открытых горных работ включают четыре основных связанных между собой последовательных технологических этапа: подготовка пород к выемке; выемочно-погрузочные работы; перемещение

(транспортирование) горной массы; разгрузка и складирование горной массы. [75,89,96] При этом технологические процессы последних трех этапов связаны между собой наиболее жестко, так как имеют целью создание карьерных грузопотоков определенной мощности для перемещения горной массы. В настоящее время в погрузочно-транспортном процессе с использованием технологического автотранспорта наиболее активно внедряются экскаваторно-автомобильные комплексы, представляющие собой совокупность технологических схем работы и включающие в себя пункты погрузки, автодороги и пункты разгрузки, в которых карьерные автосамосвалы выполняют роль ключевого звена [55,83].

Карьерные автосамосвалы, основными производителями которых являются Komatsu (Япония), Caterpillar (США), Euclid-Hitachi (Япония) и БЕЛАЗ (Беларусь), остаются преобладающим видом технологического автотранспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом. Автотранспорт используется при перевозке до 80% всей горной массы в мире, в т. ч. в США и Канаде – 85%, в Южной Америке – 85%, в Южной Африке – 90 %, в Австралии – 100%. В России и странах СНГ удельный вес карьерного автотранспорта составляет 75% и в ближайшей перспективе будет расти за счет расширения открытого способа добычи угля [3,4,9].

Широкое применение технологического автотранспорта связано с его высокими технико-экономическими показателями. Автономность и маневренность самосвалов позволяет использовать их в сложных стесненных условиях, особенно при разработке глубоких карьеров на всех этапах их функционирования при расстояниях транспортирования до 3...5 км [49,50,51].

Схемы движения автотранспорта в карьере определяются горнотехническими условиями разработки месторождения и направлением транспортирования полезных ископаемых и вскрышных пород. Транспортные линии грузоперевозки на основе карьерных автосамосвалов должны обеспечивать своевременность перемещения горной массы от выемочно-погрузочного оборудования к пунктам разгрузки. Технологические процессы транспортирования носят циклический характер и включают: движение, маневрирование, погрузку, разгрузку [22,23,71,75]. Весь процесс взаимодействия карьерных автосамосвалов с горным и вспомогательным оборудованием можно представить в виде моделей - обобщенных диаграмм последовательности их взаимодействия с выемочно-погрузочным оборудованием от пунктов погрузки

до пунктов разгрузки (перегрузочный склад, бункер или отвал) (рис. 1.1 – 1.3) [5].

Анализ диаграмм показывает, что для обеспечения эффективной работы карьерного автотранспорта и выемочно-погрузочного оборудования требуется планирование количества автосамосвалов каждый смену и в оперативном режиме, рациональное распределение их по маршрутам, четкая координация с выемочно-погрузочным оборудованием и оборудованием разгрузочных пунктов, непрерывный контроль процессов, что достигается за счет автоматизации управления горно-транспортным комплексом с использованием алгоритмов оптимизации маршрутов транспортирования и количества автосамосвалов [71, 84, 98].



Рисунок 1.1 - Диаграмма последовательности взаимодействия карьерных автосамосвалов и выемочно-погрузочного оборудования

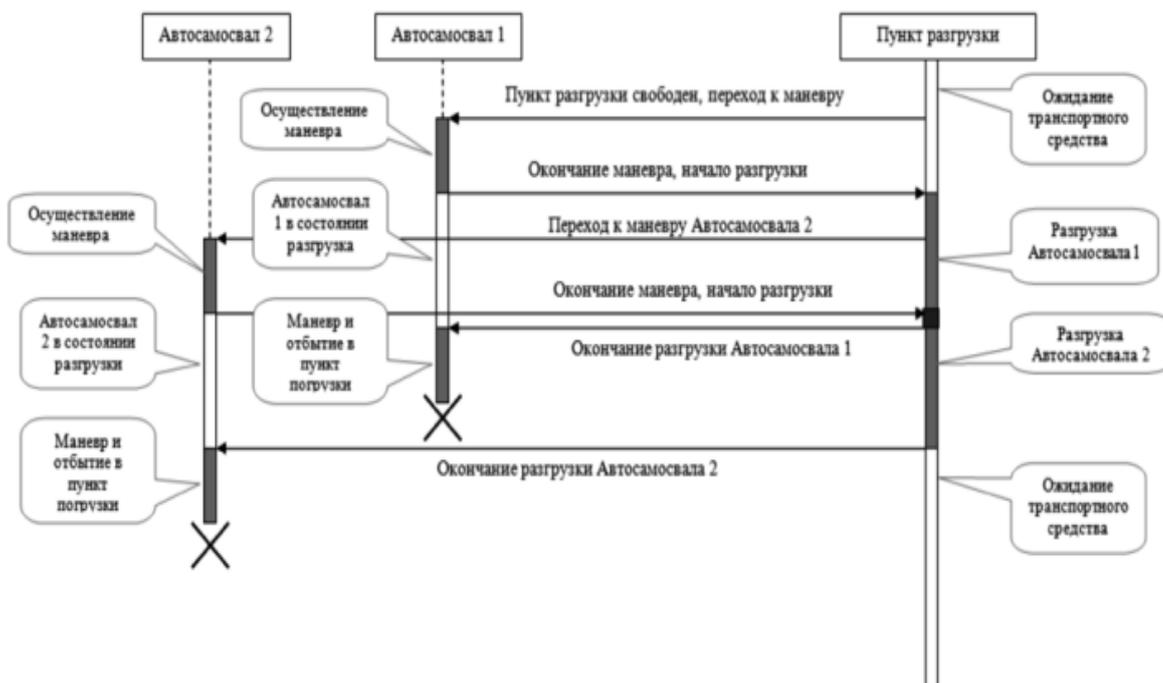


Рисунок 1.2 - Диаграмма последовательности взаимодействия карьерных автосамосвалов в процессе разгрузки на пункте разгрузки – перегрузочном складе



Рисунок 1.3 - Диаграмма последовательности взаимодействия карьерных автосамосвалов в процессе разгрузки на пункте разгрузки – бункере

Высокие технико-экономические показатели работы карьерного автотранспорта и безопасность его эксплуатации должны обеспечиваться соответствующим качеством технологических дорог (продольные уклоны и

кривизна, ширина и неровность покрытия, коэффициент сцепления шин с дорогой и т.д.). Учитывая, что в настоящее время существует тенденция увеличения средней грузоподъемности карьерных автосамосвалов 130 т и более стоимостью 2–4 млн. долларов и более, а эксплуатация одного автомобиля обходится в 150–300 тыс. долларов в год, технологические дороги должны обеспечивать надежную работу автотранспорта.

Исследованиями по оценке состояния технологических дорог [17], проведенными в ряде карьеров на базе самосвалов БелАЗ-7519 110 т, установлено, что колебания платформы автосамосвала при движении по карьерным дорогам составляют от 260–280 до 450–480 см/км. [47] Абсолютная величина ускорений автомобиля при преодолении неровностей достигает в отдельных случаях 7,0–7,3 м/с², а среднее значение ее по отдельным трассам изменяется от 1,23 до 3,7 м/с² в грузовом и от 1,8 до 4,17 м/с² в порожняковом направлениях. В результате автосамосвалы, испытывают значительные динамические нагрузки, обуславливающие их интенсивный износ. В то же время от колес автосамосвала передаются динамические нагрузки на поверхность дороги, увеличивая размер и интенсивность неровностей. Неровности являются и основной причиной механических повреждений шин, на долю которых приходится от 50 до 70% случаев списания последних. По разным оценкам установлено, что за счет устранения и снижения отказов шин из-за порезов, расслоения и разрывов их ресурс может быть повышен на 40–50%. На 25–40% может быть уменьшено количество отказов в металлоконструкциях автосамосвалов за счет снижения динамических нагрузок при движении [47].

Существующая практика визуального контроля и экспертной оценки состояния технологических дорог дорожными службами горного предприятия и водителями автосамосвалов не позволяет точно оценить качество дорожного полотна. Причем процесс визуального контроля дорожного полотна не отличается высокой оперативностью, особенно в условиях больших карьеров, где протяженность технологических дорог составляет 50 км и более.

В настоящее время уже имеется успешный опыт автоматического контроля состояния дорог с помощью бортового оборудования карьерных автосамосвалов. Например, система VIMS (Vital Information Management System - система сбора и хранения основной информации) самосвалов Caterpillar, обеспечивает возможность обработки данных для дальнейшего их анализа в диспетчерском центре. Совершенствование бортовых систем карьерных автосамосвалов БелАЗ

и разработка программного обеспечения контроля качества технологических дорог автоматизированной системы управления горно-транспортным оборудованием могут способствовать повышению производительности автосамосвалов, увеличению срока службы их основных узлов и агрегатов и снижению расхода топлива, а при внедрении на горных предприятиях роботизированных технологических линий грузоперевозок обеспечит надежность их работы.

Проведенный анализ особенностей организации работы автотранспорта при ведении открытых горных работ [12,15,16,18,28,45] показывает, что важнейшей составляющей эффективной работы является автоматизированный контроль за состоянием техники, ее перераспределение между погрузочным оборудованием и пунктами разгрузки, а также расчет оптимального количества на маршрутах [10,69,70]. А при усложняющихся горно-геологических условиях и повышенных требованиях к безопасности, эффективное использование горной техники может обеспечено исключением человека из опасных зон, а повышение эффективности открытых горных работ возможно за счет управления техникой в оптимальных режимах и автоматической оптимизации грузопотоков [1,103,104]. Все эти задачи выполняют современные автоматизированные системы управления горно-транспортными комплексами (АСУ ГТК), в которые в дальнейшем могут включаться роботизированные системы грузоперевозок.

1.2. Современные системы управления горно-транспортным комплексом и основные тенденции их развития и модернизации

Управление горно-транспортным комплексом карьера, представляет собой достаточно сложную задачу в силу большого количества взаимодействующих между собой элементов системы, пространственным и изменчивым их распределением в карьере. АСУ ГТК должна обеспечивать оперативное получение информации о местоположении и перемещении горного, транспортного и вспомогательного оборудования и/или его рабочих органов в режиме реального времени [68, 97,98].

Технологический процесс грузоперевозок карьерными автосамосвалами условно можно разделить на четыре этапа – планирование, организация процесса, реализация процесса и контроль. При этом требуется контролировать время выполнения всех операций при перевозке горной массы, количество

рейсов, вес перевозимого груза, уровень топлива в баке, качество вождения автосамосвалом и другие эксплуатационные показатели работы автосамосвалов.

Для контроля и управления работой горно-транспортным оборудованием существуют централизованный и децентрализованный способ управления технологическими процессами. При централизованном подходе диспетчерский центр осуществляет сбор данных от каждой подвижной единицы, а диспетчерская служба контролирует их, оперативно регулирует движение автотранспорта в зависимости от текущей ситуации. При децентрализованном способе данные накапливаются за установленный период на каждой подвижной единице и далее передаются в диспетчерский центр. И в том, и другом случае собранные данные автоматически обрабатываются и выдаются итоговые отчеты, на основании которых принимается решение о корректировках в организации процесса. В настоящее время на рынке автоматизированных систем управления горно-транспортным комплексом представлено несколько их разновидностей.

Первые поколения отечественных автоматизированных систем управления такие как «Карат», «Пуск», «Томусинский», «Кварцит» и «Гранит» создавались как информационно-советующие системы с использованием ЭВМ, которые работали по замкнутому циклу [85-87, 97,98]. Например, система «Карат» решала задачи оптимального планирования работы транспортной линии грузоперевозок и распределения автосамосвалов по пунктам погрузки и разгрузки с одновременным сбором первичной информации, ее обработки и выдачи результатов расчета оперативных показателей транспортных линий для анализа, выработки решений и планирования работы на следующие смены. При этом система позволяла управлять и контролировать распределение потока технологического автотранспорта по пунктам погрузки, обеспечивать выбор пункта погрузки и маршрута следования каждого автосамосвала, а также осуществлять учет работы автосамосвалов [91,92,95].

Недостатками системы «Карат» и ей аналогичных было то, что они не позволяли осуществлять контроль многих важных эксплуатационных характеристик работы транспортной системы. Это приводило к необоснованным и завышенным затратам на горюче-смазочные материалы, техническое обслуживание и ремонт, а также автомобильные шины. В настоящее время из-за устаревшей элементной базы системы подобного типа на карьерах не функционируют.

Более совершенными системами, относящиеся к классу информационно-управляющих систем, являются система «Комплекс-АТ», внедренная на Соколовском карьере ССГОКа, и система «Гермес», внедренная на СевГОКе [14]. Эти системы обеспечивали следующие информационно-вычислительные функции: сбор информации о массе грузов, перевозимых автосамосвалами и погруженными экскаваторами, о состоянии экскаваторов и технических средств АСУ ГТК; подготовка информации для АСУ верхнего уровня; контроль и регистрацию отклонений от заданного режима; отображение информации.

Достижения микропроцессорной техники, информационных технологий, систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС качественно сказались на развитии автоматизированных систем управления горно-транспортным комплексом открытых горных работ [24,25,53]. Одной из таких систем, разработанной в Институте Горного Дела им. Д.А. Кунаева (Республика Казахстан) является автоматизированная система диспетчеризации горно-транспортных работ (АСД ГТР) «АДИС-АВТО», опытные испытания которой с 2004 года были проведены на Джетыгаринском карьере, а внедрение осуществлено на комбинате «Кустанайасбест». Аппаратное обеспечение этой системы включает бортовые комплексы «АДИС» сбора, хранения и передачи средствами УКВ радиосвязи информации о местоположении, техническом и технологическом состоянии автосамосвалов и стационарной базовой станции, которая обеспечивает прием информации с бортовых комплексов и передачу ее на сервер. На рисунке 1.4 представлена схематическая структура работы АСД ГТР «АДИС-АВТО».

Система АСД ГТР «АДИС-АВТО» обеспечивает: планирование работы транспортных линий грузоперевозок на смену; оперативное управление маршрутами движения автосамосвалов; контроль выполнения плановых заданий и др. В тоже время в системе не полностью реализован контроль и учет эксплуатационных затрат на грузоперевозки технологического автотранспорта, а именно, отсутствует контроль эксплуатационных затрат при несанкционированных отклонениях от заданного маршрута, сливе топлива из топливного бака, состояния важнейших агрегатов самосвала в режиме реального времени [20].

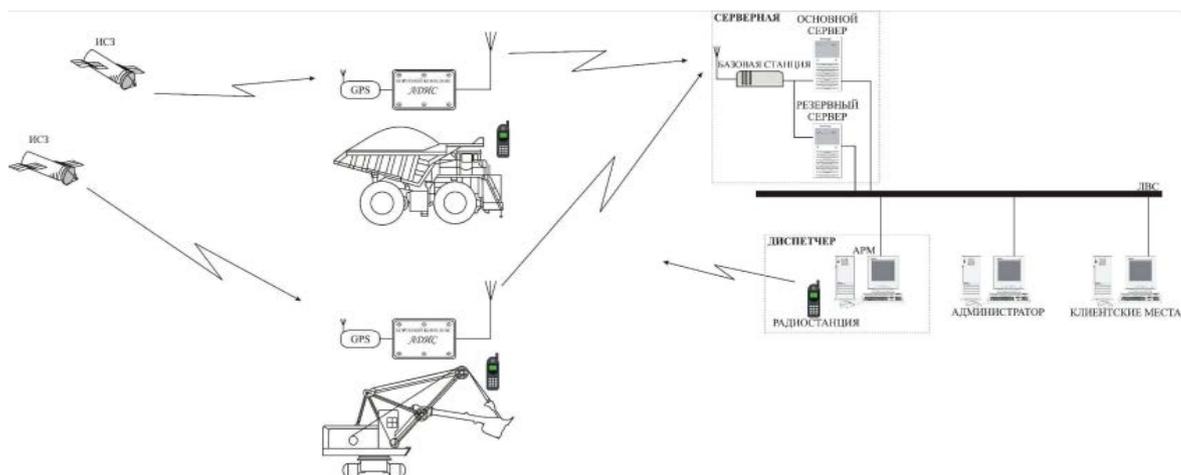


Рисунок 1.4 - Структурная схема работы АСД ГТР «АДИС-АВТО»

Компания «Союзтехноком» (Россия) разработала и внедрила на Центральном ГОКе в компании Апатит (г. Апатиты) систему управления аналогичного типа (рисунок 1.5), в которой работомеры используются в качестве бортовых контроллеров автосамосвалов. Работомер представляет собой «черный ящик» для автоматической регистрации в памяти всех событий технологического процесса, происходящих «на борту» и контроля состояния важнейших систем автосамосвала (температуры охлаждающей жидкости двигателя, режима его работы, моточасы, расход топлива, масса перевезенного груза и др.). Кроме того работомер автоматически обеспечивает прием-сдачу рабочих смен и формирование сменных отчетов об использовании автосамосвала в принятой на предприятии системе учета производственных показателей.

Получение данных о работе транспорта осуществляется с помощью радиомодемов Спектр 9600GM с расстояния 5-10 км, либо с помощью GSM модемов в зоне покрытия сотовой сети. Наличие бортового приемника GPS позволяет диспетчерам в режиме реального времени иметь информацию о месте нахождения транспорта в текущий момент, типе простоя машины и месте разгрузки. По опыту эксплуатации в компании Апатит, система обеспечила повышение производительности на 5% и снижение расхода топлива на 5% [67, 77].

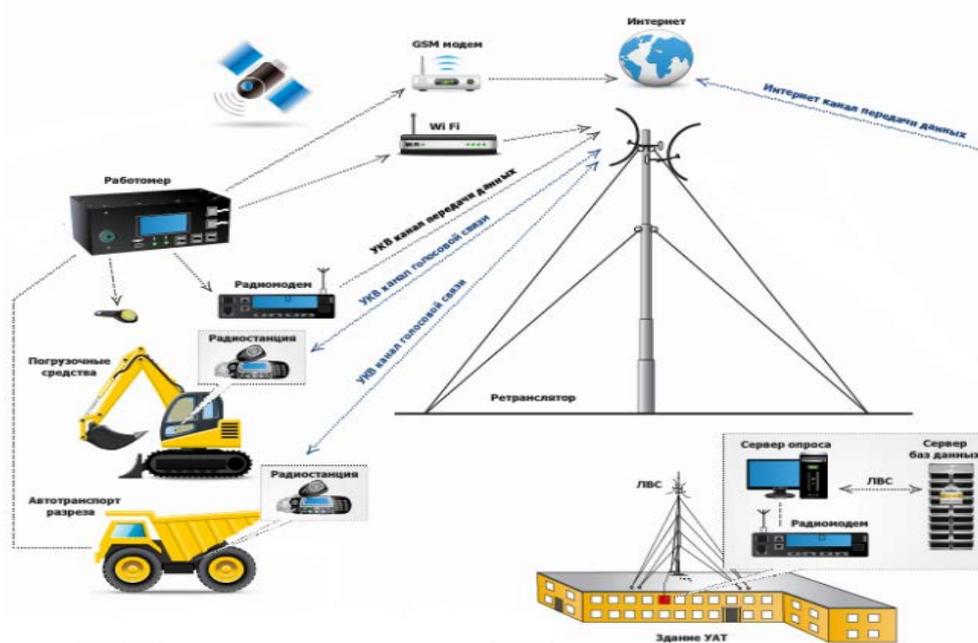


Рисунок 1.5 – Автоматизированная система управления горно-транспортным комплексом ЗАО «Союзтехноком»

АСУ ГТК «Карьер» (разработчик компания «ВИСТ Групп», Россия) обеспечивает управление работой горно-транспортным комплексом с непрерывным обеспечением диспетчерского и управленческого персонала полной информацией о текущем положении и техническом состоянии автосамосвалов [21,32,33,36,97,98]. 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 ГЛОНАСС/GPS, скорости и 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 [35, 39, 100, 101]. Обобщенная структурная схема системы диспетчеризации карьер (АСУ ГТК «Карьер») показана на рисунке 1.6.

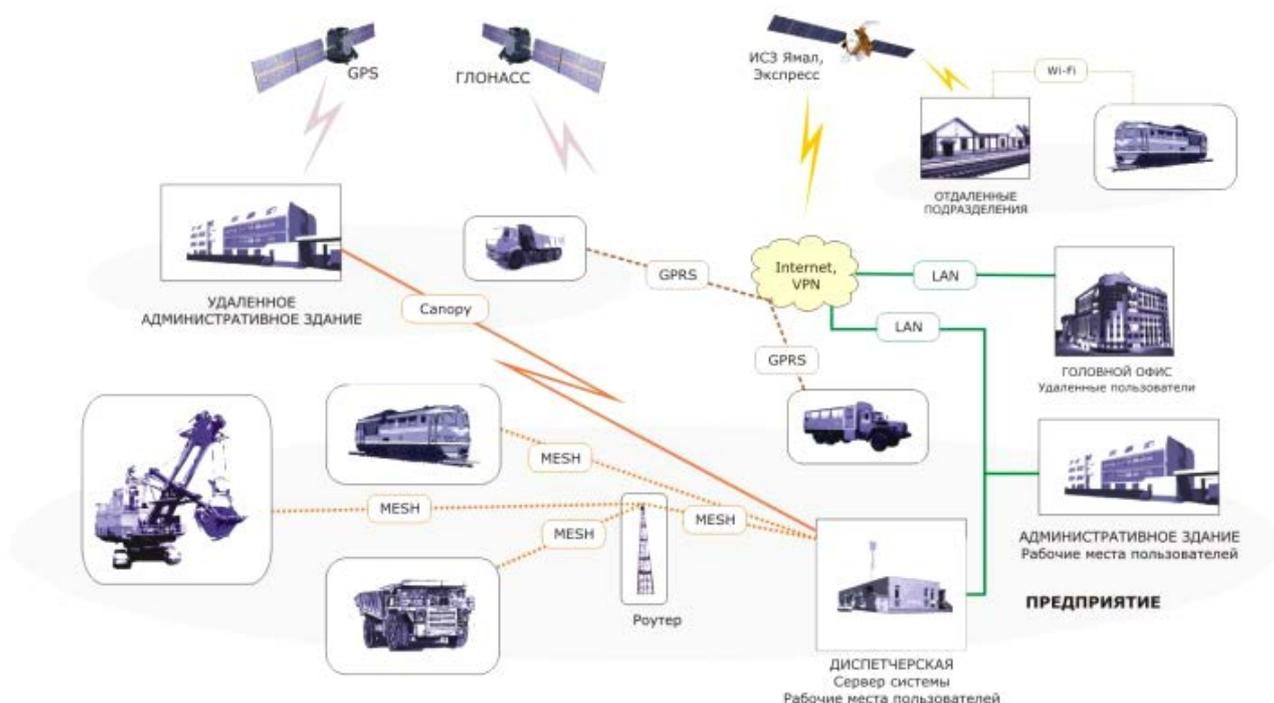


Рисунок 1.6 - Структурная схема АСУ ГТК «Карьер»

Состав бортовых систем и оборудования показан на рисунке 1.7 [74,98].

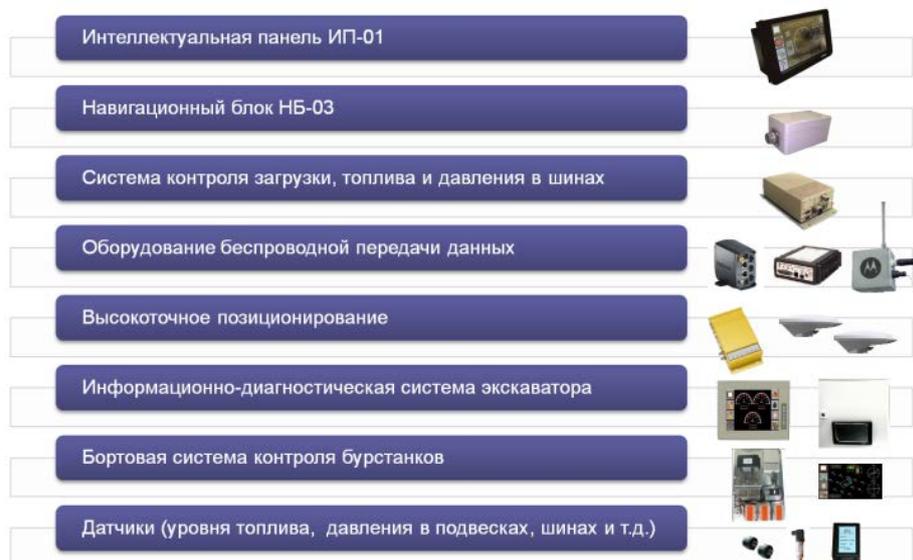


Рисунок 1.7 - Состав бортовых систем и оборудования АСУ ГТК «Карьер»

Система позволяет диспетчеру наблюдать в динамике достоверную картину работы горно-транспортного комплекса и принимать оптимальные и оперативные решения по устранению ситуаций, связанных с авариями и простоем самосвалов. Для обеспечения оперативного управления горно-

транспортным комплексом в системе реализована статическая и динамическая оптимизация работы карьерной техники, разработаны модули статистики, прогнозирования и поддержки бизнес-процессов.

АСУ ГТК «Карьер» обеспечивает выполнение следующих основных функций для автотранспорта: отображение актуальных заданий автосамосвалов; задание групп маршрутов для автосамосвалов и распределение внутри групп; задание варианта работы для маршрутов/групп маршрутов; распределение автосамосвалов по маршрутам/группам маршрутов; распределение автосамосвалов по маршрутам/группам маршрутов с помощью модуля статической оптимизации; оповещение водителей автосамосвалов об изменениях с помощью текстовых сообщений.

АСУ ГТК «Карьер» успешно работает на более 40 горнодобывающих предприятиях России, Украины, Казахстана, Монголии, Марокко. Ее выбрали крупнейшие угледобывающие компании, входящие в структуру холдингов СУЭК, СДС-Уголь, Северсталь Ресурс, Мечел, ДГК, Сибуглемет, Ковдорский ГОК, МЕТИНВЕСТ и др. [11, 41].

Опыт разработки и системы АСУ ГТК «Карьер» был применен для анализа построения роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии, прежде всего, для решения следующих задач: использование систем передачи данных в условиях открытых горных работ, размещение базовых станций, борьба с электромагнитными помехами, работа при низких температурах, анализ необходимой полосы пропускания для передачи телеметрии, видео и другой информации, необходимой для управления автономным транспортом; разработка бортовых контроллеров (промышленных компьютеров), их программного обеспечения, различных датчиков, а также управляющих механизмов на автосамосвалах, экскаваторах, бульдозерах, буровых станках, погрузчиках, топливозаправщиках; разработка алгоритмов и архитектуры программного обеспечения (в том числе база данных, интерфейсы диспетчеров и линейного персонала, эксплуатирующих АСУ ГТК «Карьер»).

Внедрение АСУ ГТК «Карьер», происходит для того чтобы: повысить эффективности оперативного управления работой ГТК предприятия; повысить достоверность и оперативность учета и контроля работы горно-транспортного комплекса; обеспечить удаленный контроль использования техники и автоматический анализ и производственных и эксплуатационных показателей работы горнодобывающего предприятия.

При этом предусмотрена автоматическая диспетчеризация и оптимизация работы автотранспорта, исходя из необходимых критериев оптимизации работы конкретного горного предприятия. К таким критериям оптимизации могут относиться минимизация простоев под загрузку под конкретным экскаватором, максимизация производительности забоя, усреднение качества руды и т.д. [34].

Анализ автоматизированных систем управления горно-транспортными комплексами [19,20,97,98] выявил наибольшее распространение среди горнодобывающих компаний в мире АСУ ГТК следующих вендеров: Wenco International Mining Systems (Hitachi), Modular Mining (Komatsu), ВИСТ Групп, Leica Geosystems (Hegsagon Geosystems), Devex (Hegsagon Geosystems), Caterpillar, Союзтехноком. Три вышеуказанные компании, напрямую связаны с производством карьерной техники и созданием роботизированных систем, что в свою очередь также подтверждает актуальность данной темы среди лидеров рынка АСУ ГТК.

Особенностью зарубежных 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 [105].

Одной из первых автоматизированных систем управления карьерным автотранспортом, в которой для оптимизации процедуры распределения автосамосвалов по экскаваторам использовался алгоритм решения на ЭВМ задач линейного программирования с изменяющимися факторами, была система управления, внедренная на большом медном карьере (г. Тусон, США). Фактически это была система диспетчеризации с распределением времени, т. е. ЭВМ работала в диалоговом режиме с диспетчером. При этом решение принималось диспетчером, а варианты ему рекомендовал компьютер, исходя из условий лучшего использования карьерных автосамосвалов и выполнения точных заданий. В случае аварии автосамосвала, диспетчер посредством удаленного доступа вмешивался в работу компьютера, внося соответствующие коррективы [29]. Управление работой карьерными автосамосвалами по открытому циклу позволило повысить производительность грузоперевозок

более, чем на 20%. Функционально такие системы были эффективны и затраты на их создание окупались менее, чем через год.

Более совершенными стали системы диспетчеризации, работающие в режиме реального времени, в основе которых лежит принцип автоматического распределения автосамосвалов в оптимизированном режиме. Системы состоят из трех основных подсистем: первое- автоматического опознавания и места нахождения самосвала; второе- связи, вычисления; третье-воспроизведения на дисплее.

По таким принципам была создана система управления транспортными грузоперевозками «Dispatch», которая была внедрена еще в 1980 г. на карьере «Tiron» (США). При этом производительность погрузочно-транспортного комплекса повысилась в среднем на 11%, система полностью исключила неправильное распределение автосамосвалов. Аналогичная система автоматического управления работает в карьере «Bugenwill» (Папуа-Новая Гвинея), а ее применение позволило увеличить коэффициент использования карьерных автосамосвалов на 3,24%, при этом производительность выросла на 8,34% [29]. Система Dispatch применяется на горнодобывающих предприятиях в том числе и на нескольких карьерах по добыче железной руды в России.

К одной из современных систем управления относится диспетчерская система «RAN», разработанная фирмой «Pincot, Allen and Holt Inc.» (США). Система обеспечивает хранение статистических данных о работе 30 погрузочных механизмов, 30 разгрузочных пунктов, 120 автосамосвалов различной грузоподъемности, 30 автоматических заправочных станций и 5 крупных рудных складов [29]. Система «RAN» обеспечивает непосредственную связь между компьютером и работающим горным оборудованием с выдачей точных сведений о грузопотоках и времени движения каждого автосамосвала и т. д. Внедрение системы способствовало лучшему использованию оборудования, благодаря чему на 25% возросла производительность карьера и значительно снизились капитальные и эксплуатационные расходы.

Использование ЭВМ не только для управления, но и для комплексной автоматизации автотранспортного процесса стало качественно новым этапом в развитии горного производства. Это позволило внедрять технологические процессы на основе автоматических и автоматизированных средств [106].

Разработанная компанией «Wenco» автоматизированная система управления «WIMS» (Wenco International Mining Systems) обеспечивает

мониторинг и диспетчеризацию работы горно-транспортного оборудования, фиксацию в режиме реального времени на диспетчерском центре с высокой точностью данных о его работе: погрузка-движение в груженном состоянии, ожидание разгрузки, разгрузка-движение в порожнем состоянии, ожидание погрузки, а также показателей производительности, мест погрузки, номеров экскаваторов и автосамосвалов, объем погруженного полезного ископаемого, простои и т. д. [80]. Кроме того у компании Wenco есть модули системы по высокоточному управлению работой экскаваторов (контроль высокоточной отметки ковша, отметка уступов, контроль состояния стрелы), управление бульдозером, управление работой буровых станков с применением системы высокоточного позиционирования. Также после покупки компании Wenco производителем автосамосвалов Hitachi, в составе системы диспетчеризации Wenco появился набор модулей по контролю за состоянием техникой, узлов и агрегатов.

Компания Leica Geosystems Mining разработала комплексную АСУ ГТК- Jigsaw для управления техникой горного предприятия, которая включает в себя: основные модули контроля и управления горно-транспортным оборудованием, а также системы высокоточной навигации и позиционирования для экскаваторов, буровых станков и бульдозеров.

Особенностью автоматизированной системы Jigsaw является то, что она построена на однотипном унифицированном бортовом оборудовании (рисунок 1.8) и имеет три уровня управления: управление карьерными автосамосвалами (Leica Jfleet systems), высокоточное позиционирование (Leica J² guidance) и автономные системы (Leica J³ autonomous).



Рисунок 1.8 – Бортовое оборудование системы Jigsaw

Гибкость, масштабируемость и интегрированность системы Jigsaw позволяет обеспечить ее настройку под индивидуальные требования предприятия. Исходя из анализа информации на сайте Leica, Система Jigsaw внедрена на более чем 100 различных горных предприятиях мира [82].

В настоящее время в развитых странах, имеющих горнодобывающую промышленность, при разработке месторождений открытым способом ряд компаний рассматривает возможность внедрения перспективных безлюдных технологий на основе дистанционно-управляемой техники и систем автономных грузоперевозок, использующих роботизированные карьерные автосамосвалы. По сравнению с существующими технологиями добычи полезных ископаемых безлюдные технологии обеспечивают более высокую эффективность открытых горных работ, производительность оборудования и уровень безопасности персонала, снижают эксплуатационные издержки и минимизируют присутствие людей непосредственно в забое. По оценкам зарубежных специалистов автоматизированное управление работой автотранспорта в карьере позволяет повысить его производительность более чем на 20%, а коэффициент использования самосвалов на 25%.

Пионером в области систем автоматического управления карьерными автосамосвалами является фирма «Юнит Риг Икуипмент», производящая автосамосвалы Лектра хол (США). Целью разработки этой системы является полное исключение водителей автосамосвалов. Система включает устройства управления, установленные на автосамосвале, направляющее транспортное оборудование на основе подземного кабеля с глубиной залегания 0,45 м и блоками управления вдоль трассы карьера, и центрального пульта управления [101]. Экономическая эффективность этой системы была проверена на меднорудном карьере, где работали 10 экскаваторов и 54 автосамосвала. Было достигнуто двукратное уменьшение времени ручного управления автосамосвалами, а коэффициент использования автосамосвалов увеличен на 25%, при этом были сокращены эксплуатационные расходы на 25% [28].

В 2004 году в Японии была создана автоматизированная система контроля движения автосамосвала Komatsu Autonomous truck при перемещении его по карьерным дорогам с уклонами до 12%. Система устанавливалась на автосамосвалах Komatsu малого и среднего типоразмера (HD-785, HD-465 HD-325) грузоподъемностью от 32 до 80 т. Система Autonomous truck работает в трех режимах: автоматическом, радиоконтроля и ручного управления и включает следующие автономные подсистемы [79,102]: общая система наблюдения GMS (Global Monitoring System); навигационная система NS (Navigation System); система обнаружения препятствий или защиты от столкновения ODS (Obstade

Detection System); система наблюдения за автосамосвалом VMS (Vehicle Monitoring System).

Контроль движения автосамосвалов в автоматическом режиме производился из погрузочной машины. Дистанционное управление движением самосвала на погрузочном пункте осуществляется в полуавтоматическом режиме, либо при полном контроле с помощью специального радиопульта. Наибольшую эффективность система Autonomous truck обеспечивала при одновременной работе трех автосамосвалов Komatsu со скоростью движения вперед до 30 км/ч и 10 км/ч назад.

Ведущими производителями карьерной техники разрабатываются и внедряются системы автономных грузоперевозок (Autonomous Haulage System (AHS)) на основе роботизированных карьерных автосамосвалов. Система AHS исключает человеческий фактор при управлении самосвалом, обеспечивает не только движение по трассе между пунктами загрузки и разгрузки, но и маневрирование в местах разгрузки.

Компания Komatsu Ltd., которая совместно с компанией Modular Mining создала систему автономных грузоперевозок, получившую название FrontRunner. Система была впервые в 2008 году введена в эксплуатацию на руднике West Angelas, месторождение Ист-Пилбара в Западной Австралии компании Rio Tinto. С 2009 года было организовано управление горно-транспортным оборудованием из единого диспетчерского центра, находившегося на расстоянии 1300 км от места горных работ. Система FrontRunner была введена в эксплуатацию также на медных рудниках компании Codelco в Чили.

Первоначально оборудование системы FrontRunner было установлено на 5 автосамосвалах KOMATSU на базе модели 930E с электроприводом, а также сверхтяжелом гидравлическом экскаваторе PC5500, бульдозере D475A, колесном бульдозере WD900 и автогрейдере GD825. Автономные автосамосвалы передвигаются в сложных условиях разрабатываемого месторождения без водителя под управлением компьютерного диспетчера. Общая концепция системы автономных грузоперевозок FrontRunner представлена на рисунке 1.9.

Компьютерный диспетчер по каналам беспроводной передачи данных задает автосамосвалам без водителей маршрут и скорость, а система глобального позиционирования устанавливает их местоположение. Под погрузку

автосамосвалы автоматически направляются в точку, совпадающую с местоположением ковша, координаты которого определяются с помощью GPS-навигатора, встроенного в механизм гидравлического экскаватора или колесного погрузчика. Компьютерный диспетчер также передает автосамосвалам данные о курсе следования к точке разгрузки.

В плане безопасности система управления исключает столкновение автосамосвалов друг с другом, а также со спецмашинами и прочим оборудованием на территории разрабатываемого месторождения. Если в поле обзора системы обнаружения препятствий попадает другое транспортное средство или человек, оказавшиеся на линии передвижения машин, управляемых системой автономных грузоперевозок, они снизят скорость или немедленно остановятся.

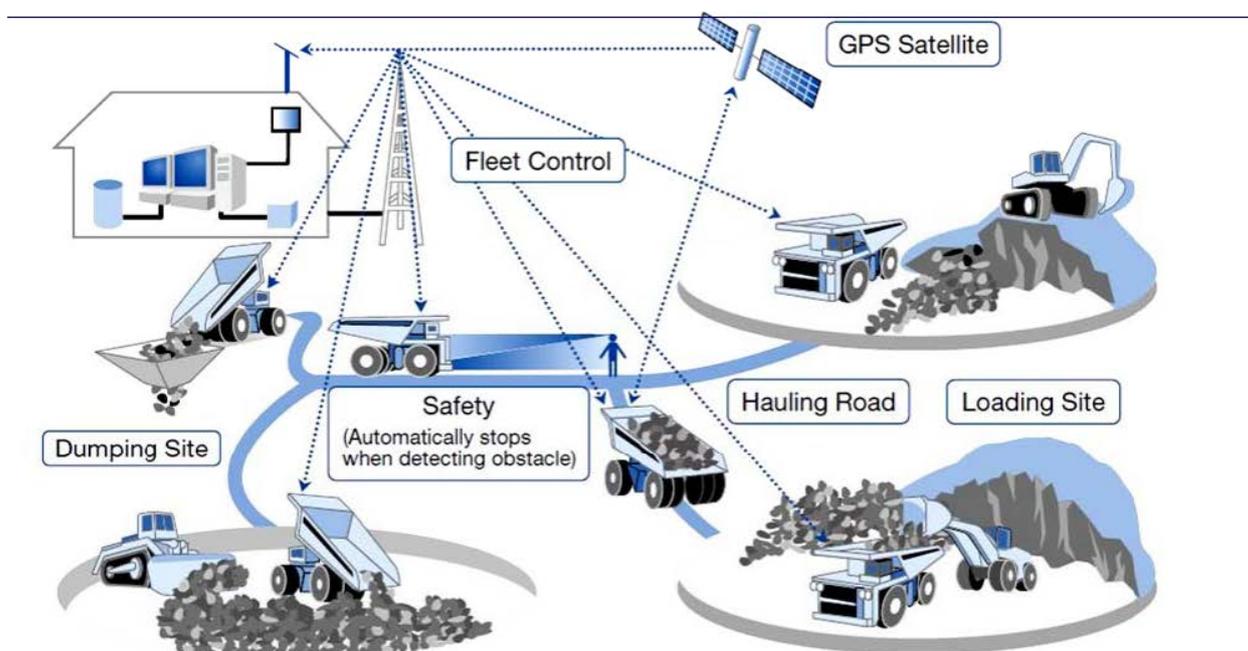


Рисунок 1.9 – Концепция системы автономных грузоперевозок FrontRunner

Согласно соглашению между компаниями Komatsu и RioTinto к концу 2015 года планируется ввод в эксплуатацию 150 автономных автосамосвалов Komatsu 930E-B на руднике Yandicoogina в Западной Австралии.

Другой ведущий производитель карьерной техники – компания Caterpillar разработал автономную систему управления горными работами Caterpillar Mine Star с планами коммерческого использования в 2015 году в центре управления в Эдмонтоне, Канада, для управления 8 горными предприятиями в Северной Америке и Канаде [59]. Каждое из предприятий имеет примерно 35 автономных

автосамосвалов и полностью автоматизированный парк буровых машин, 7 погрузочных единиц управляемых машинистами, парк бульдозеров Caterpillar D10T, D11T с дистанционным управлением. Расстояние от самого удаленного карьера до диспетчерского центра более 1000 км.

Автономная система Caterpillar Mine Star включает две основные подсистемы: Minestar Fleet Commander и Minestar Health, причем первая подсистема позволяет отслеживать все грузопотоки и оптимизировать их, контролировать все этапы работы автосамосвалов, а также визуализировать всю поступающую информацию. В свою очередь подпрограмма Minestar Health в режиме реального времени контролирует и управляет всеми событиями.

Японская компания Hitachi также планирует к 2017 году разработать систему автономных грузоперевозок AHS полного технологического цикла на основе карьерных автосамосвалов Hitachi с электроприводом переменного тока в тесном сотрудничестве с компанией Wenco International Mining Systems Ltd [80].

В подсистеме автономного управления Leica J³ autonomous автоматизированной системы управления Jigsaw компании Leica Geosystems mining в партнерстве с компанией Autonomous Solutions Inc. (ASI) разработана универсальная аппаратная и программная платформа (рисунок 1.10), не привязанная к конкретному виду техники и производителю, которая позволяет обеспечивать любой уровень автономии горно-транспортного оборудования [81].

Система Leica J³ autonomous включает в себя: подсистему управление колонной автосамосвалов Haul truck; подсистему дистанционного управления оператором вне кабины с помощью ручного пульта в пределах прямой видимости; подсистему полуавтономного управления (удаленная работа оператора из пункта управления с использованием видеонаблюдения и цифровой карты карьера при полной автоматизации части рабочего цикла); подсистему автономной работы бульдозеров.

В мире также существует ряд компаний, среди которых Remote Control Technology (RCT), ASI, занимающиеся созданием бортового оборудования для роботизации механизмов горной техники, транспорта в отрыве от АСУ ГТК. Данные компании разрабатывают универсальное оборудование без привязки к конкретному вендору техники и АСУ ГТК. Исходя из необходимости взаимной работы горно-транспортного оборудования в рамках единой системы управления, оптимизации работы всего парка техники, массовое применение

таких систем на горных предприятиях возможно только при тесной интеграции с производителем системы диспетчеризации ГТК.



Рисунок 1.10 – Ручной пульт дистанционного управления и бортовое оборудование системы Leica J³ autonomous

Проведенный анализ современного состояния и перспектив развития автоматизации открытых горных работ показывает, что важнейшими особенностями и необходимым фактором развития организации производства и управления при ведении горных работ на современном этапе является применение автоматизированных систем управления горно-транспортными комплексами, позволяющими значительно повысить эффективность горного производства: производительность труда и безопасность горных работ. Степень развития технологий связи, навигации и программного обеспечения позволяет автоматизировать контроль и управление горной техникой с применением стандартных принципов управления. Следующим этапом повышения производительности работы горно-транспортного комплекса может стать шаг, направленный на снижение нетехнологических простоев и устранения человека из непосредственного процесса управления горной техникой.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время конкуренции, разработки новых решений и способов повышения эффективности работы горно-транспортных комплексов привели к развитию и внедрению автоматизированного способа добычи полезных ископаемых на ведущих горнодобывающих предприятиях мира, а при соответствующей модернизации

АСУ ГТК и доработке программного обеспечения должны обеспечить поэтапный переход к созданию АСУ ГТК с применением роботизированных систем грузоперевозок. Существующие технологии по созданию автосамосвалов, которые способны дистанционно или автономно передвигаться по технологическим дорогам уже не удовлетворяют горнодобывающие компании. Необходимо, чтобы автосамосвал функционировал как часть целой системы карьерной разработки, взаимодействуя с каждым элементом оборудования и каждым человеком на горном предприятии, то есть, чтобы роботизированный автосамосвал являлся элементом системы АСУ ГТК и также управлялся централизованно, а не в отрыве от остального производства.

1.3. Анализ тенденций применения дистанционно-управляемых и роботизированных карьерных автосамосвалов

Как было заявлено выше одним из ведущих производителей дистанционного (радио-) и телематического (видео-) автоматизированного управления погрузчиками, бульдозерами, буровыми станками, экскаваторами, автосамосвалами и вспомогательным оборудованием является австралийская компания Remote Control Technologies Pty Ltd (RCT). Разработанная компанией линейка оборудования дистанционного управления Control Master обеспечивает управление в пределах прямой видимости и может быть адаптировано для любого типа горной техники. Система дистанционного управления Control Master® представляет собой полуавтономную систему управления для помощи операторам машин с телематическим управлением во время цикла откатки. Она включает в себя передающее и приемное устройства и способна использовать уже установленное оборудование для телематического управления с отображением видеосигнала на пульте управления в режиме реального времени. Для оповещения оператора о включении режима дистанционного управления на экране текстовых сообщений появляется сообщение «Дистанционное управление включено». После активации системы контроль рулевого управления, торможения и скорости осуществляются автоматически, посредством изменения положения джойстика при минимальной ширине пути и дистанции заднего обзора. Система контролирует окружающее пространство в зоне работ в режиме реального времени.

Компанией RCT совместно с ООО «Восточная техника» (г. Новосибирск) в конце 2013 года впервые в России на Удачинском ГОКе АК «АЛРОСА»

успешно был реализован проект по одновременному дистанционному управлению работой погрузчика и четырех шарнирно-сочлененных карьерных автосамосвалов из пункта управления оборудованного в комфортабельном мобильном вагоне-доме в арктическом исполнении «Ермак» (рисунок 1.11) [2]. Пункт оборудован пультом управления, приемниками, Wi-Fi модулями для передачи аудио- и видеоинформации, креслами операторов, промышленными мониторами и компьютерами. Четыре автосамосвала и погрузчик дистанционно управляются как с переносных пультов, так и с мобильной станции. При этом они могут работать автономно и в комплексе.

Все данные с приборных панелей машин (обороты и температура двигателей, давление масла и другие параметры) передаются в цифровом виде в пункт дистанционного управления. В целях безопасности работы системы вагондом, в котором располагаются операторы, автоматически защищены от наезда неуправляемого автосамосвала. Для этого по периметру вагона установлены специальные «пилоны», являющиеся частью системы лазерной защиты. На каждом из них установлен лазер, приёмник отражённого луча и отражатель. Оборудование создаёт «лазерное ограждение», при пересечении которого человеком или машиной мгновенно все дистанционно управляемые машины останавливаются. Кроме того, система управления имеет защиту от внутренних сбоев. При неисправности оборудования передачи данных система производит также останов машины.

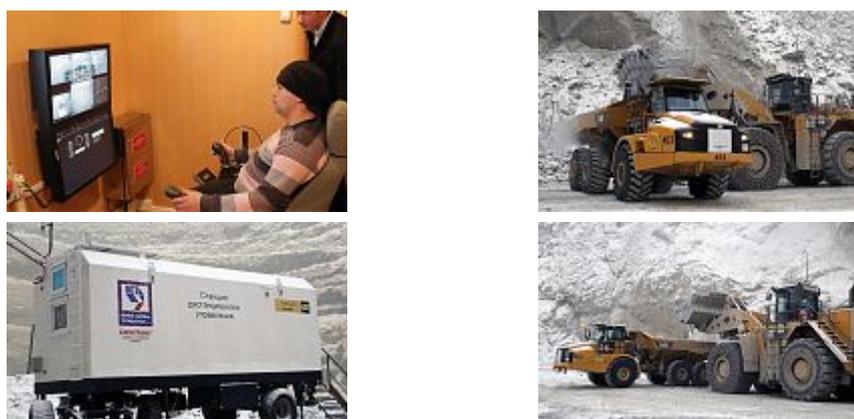


Рисунок 1.12 – Система дистанционного управления на Удачнике ГОКе АК «АЛРОСА»

Дистанционное управление в пределах прямой видимости с переносного пульта требует от оператора нахождения его вблизи машины, что ограничено зрительными возможностями, а также непрерывное наблюдение за

технологическим процессом и оперативное управление процессом работы. Для управления требуется организация надежного канала связи между человеком-оператором с объектом управления. Такой способ управления является достаточно безопасным, однако, безопасность во многом зависит от правильности оценки обстановки оператором, его навыков и опыта.

При выполнении технологических операций оператор, получая от системы информацию об объекте управления и технологическом процессе, непрерывно осуществляет контроль и управление исполнительными механизмами. Сложность процесса, неблагоприятные условия в сочетании с характером работ, требующих повышенного внимания, приводят к быстрой утомляемости оператора и, как следствие, росту вероятности ошибочных действий.

Недостатком системы дистанционного управления в пределах прямой видимости является то, что человек-оператор не освобождается от процесса управления, т. к. требуется постоянное присутствие его в зоне выполнения технологического процесса. Наиболее эффективным путем решения вышеназванных проблем является внедрение систем дистанционного, преимущественно супервизорного управления, и роботизированного горно-транспортного оборудования.

Следует отметить, что в мировой практике создание и применение роботизированных карьерных автосамосвалов с применением инновационных решений осуществляется, как правило, на базе опыта применения оборудования и техники с дистанционным управлением [79]. Так, роботизированные карьерные автосамосвалы Komatsu 930E-AT грузоподъемностью 290 т системы автономных грузоперевозок FrontRunner, оборудованы контроллерами, высокоточными GPS-навигаторами, системой распознавания препятствий и системой беспроводной передачи данных, Внешний вид роботизированного самосвала показан на рисунке 1.13.

Особенностью роботизированного карьерного автосамосвала Caterpillar 797B грузоподъемностью 345 тонн является то, что он оснащен GPS-приёмником и набором лазерных дальномеров и видеокамер, информация с которых обрабатывается бортовым компьютером, который управляет машиной. На автосамосвале применяется интегрированная система обнаружения объектов CIODS на основе радаров и видеокамер (рисунок 1.14). Зоны обзора системы обнаружения объектов Caterpillar CIODS и размещение радаров и видеокамер на борту автосамосвала показаны на рисунке 1.15.

Компанией Autonomous Solutions, Inc. (США), являющейся мировым лидером в области автоматизации наземных транспортных средств, разработан универсальный комплект бортового оборудования и программное обеспечение Mobius™ оборудования для обеспечения автономных функций [104].



Рисунок 1.13 – Роботизированный автосамосвал Komatsu 930E-AT грузоподъемностью 290 т

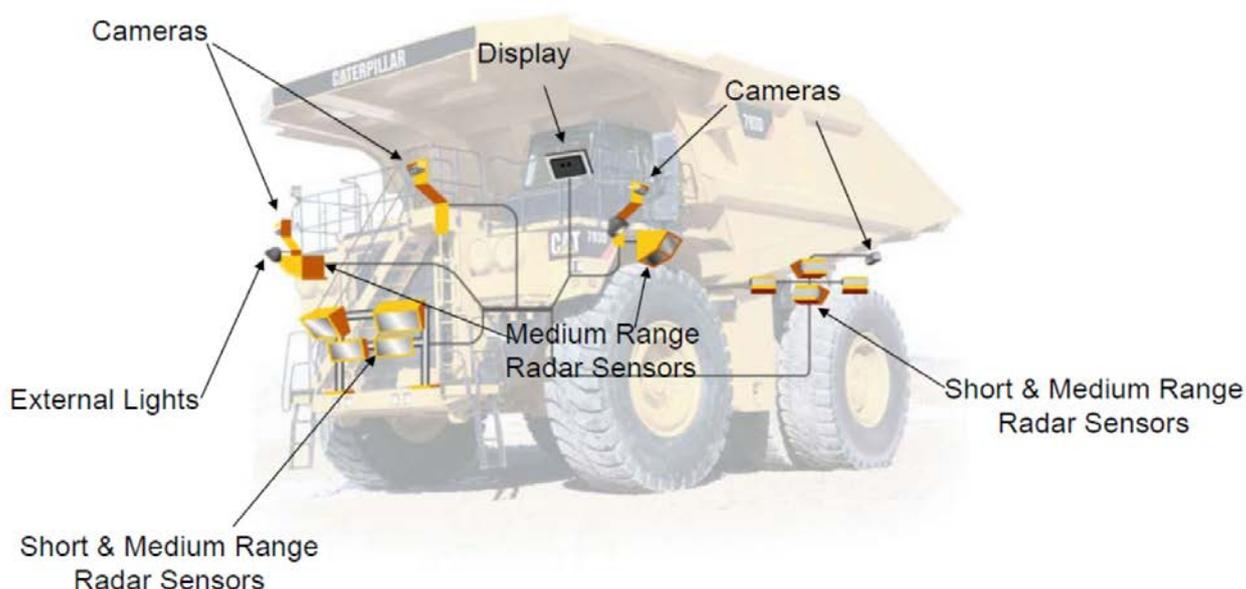


Рисунок 1.14 – Интегрированная система обнаружения объектов Caterpillar CIODS

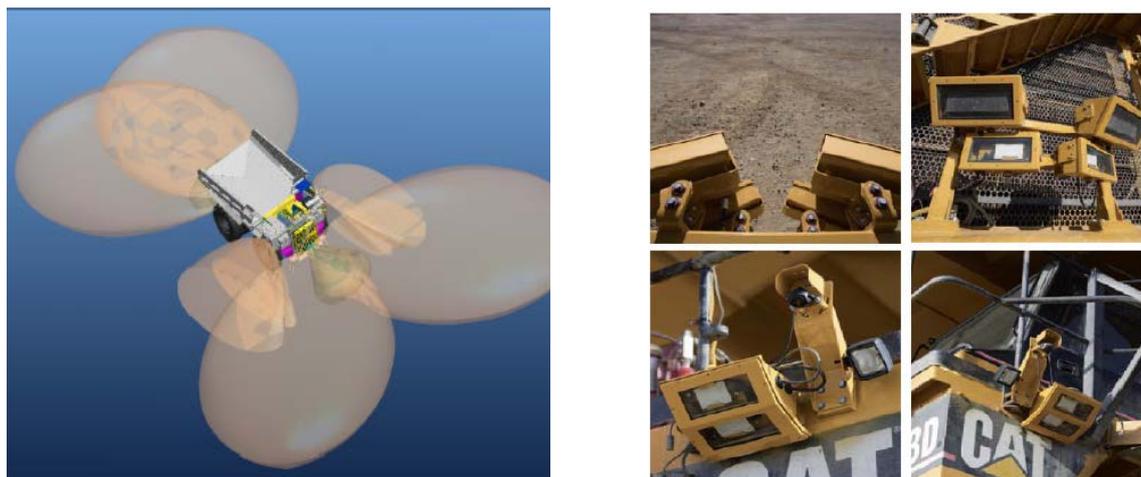


Рисунок 1.15 – Зоны обзора системы обнаружения объектов Caterpillar CIODS и размещение радаров и видеокамер на борту самосвала

Комплект оборудования включает блок управления, приводы для рулевого управления, дроссельной заслонки, тормоза, трансмиссия, высокоточная интегрированная бортовая навигационная система, 3D-лидар, радары и оборудование беспроводной передачи данных. Оборудование может устанавливаться на любое транспортное средство. Состав комплекта и вариант его размещения на борту шарнирно-сочлененного карьерного автосамосвала Komatsu NM-400 показан на рисунке 1.16. Контроль и управление движением нескольких автономных транспортных средств, обнаружение препятствий осуществляется с помощью программного обеспечения Mobius™.

В общем случае все роботизированные системы грузоперевозок обеспечивают: движение автосамосвала по выбранному маршруту к месту загрузки или разгрузки в автоматическом режиме на основе данных высокоточной спутниковой навигации GPS/Глонасс с удаленным контролем прохождения маршрута из рабочего места оператора; маневрирование при движении, разъезд со встречным транспортом и определение препятствий с использованием сигналов лазерных дальномеров и радаров; устойчивость управления автосамосвалом с рабочего места оператора; сопряжение оборудования системы управления параллельно штатным электрическим цепям бортового оборудования автосамосвала. Все производители роботизированных систем автотранспортных грузоперевозок пока принципиально не меняли штатные типо-размеры кузова, оставив возможность использования техники традиционным способом под управлением водителей и машинистов.



Типовой комплект



3D-лидар

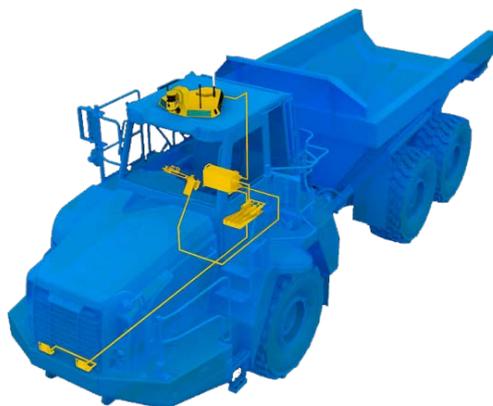


Рисунок 1.16 – Оборудование автономного управления и его размещение на борту шарнирно-сочлененного карьерного автосамосвала Komatsu NM-400

Экспериментально апробированы следующие режимы работы карьерных автосамосвалов: ручное управление из кабины; дистанционное управление с удаленного рабочего места (диспетчерского центра); автономное управление от бортового компьютера; высший приоритет ручного управления перед автоматическим (дистанционным).

Произведенный анализ создания и внедрения дистанционно управляемых и роботизированных карьерных автосамосвалов позволяет сделать вывод о том, что при переходе к безлюдным технологиям добычи полезных ископаемых открытым способом должно быть комплексное применение дистанционно-управляемого и автономного технологического оборудования в существующих или модернизированных АСУ ГТК. Решение о целесообразности использования того или иного типа автономного или дистанционно-управляемого карьерного автотранспорта принимается горнодобывающими компаниями скорее как апробация применимости технологий для их горно-геологических и горнотехнических условий.

Производители карьерной техники массово пока не предлагают роботизированные системы грузоперевозок горнодобывающим предприятиям, так как их совместное использование с традиционной схемой движения техники не определены. В настоящее время ведущие фирмы-производители карьерной техники активно оснащают автосамосвалы встроенными системами диагностирования и контроля, которые становятся важной частью бортового оборудования. Появляются совершенно новые системы, которые раньше не были заявлены в конструкции карьерного автотранспорта и другой карьерной техники. Такие системы как лидары, радары, цифровые видеокамеры, высокоточная спутниковая навигация стали широко применяться для повышения уровня контроля за состоянием техники, использования информации от датчиков и бортовых систем диагностики для оптимизации грузоперевозок.

Опыт разработки, внедрения и достигнутый технический уровень дистанционно управляемых и роботизированных карьерных автосамосвалов за рубежом подтверждают возможность их использования в качестве основного средства безлюдных роботизированных технологий грузоперевозок на открытых горных работах. Необходимо активизировать работы по созданию роботизированных геотехнологий для условий российских горнодобывающих предприятий и на основе отечественных заводов, производящих карьерную технику.

1.4. Развитие бортовых систем диагностики и контроля карьерных автосамосвалов как технической основы оптимизации роботизированных систем грузоперевозок

Системы диагностики и контроля карьерного автотранспорта предназначены для косвенного обобщенного контроля работоспособности узлов и агрегатов автосамосвала с выдачей результатов на дисплей водителю и в бортовой накопитель информации для последующего прогнозирования и учета ресурса и наработок узлов. В результате формируются рекомендации по продолжению работы автосамосвала на линии либо постановке его на техническое обслуживание и текущий ремонт. Также в современных АСУ ГТК данная информация по каналам связи передается в диспетчерский центр, где автодиспетчеры и другие службы могут анализировать эффективность и корректность работы горной техники.

Так для этого на автосамосвалах Caterpillar устанавливаются различные модификации системы контроля Vital Information Management System (VIMS™) (рисунке 1.17), которые в режиме реального времени выдают информацию о техническом состоянии и полезной нагрузке машины (более 250 различных диагностических параметров), что обеспечивает максимальную производительность автосамосвалов. Система взаимодействует с системой измерения полезной загрузки машины Truck Payload Management System (TPMS), регистрирует отклонения и оповещает оператора о возникшей перегрузке. Данные по каналам беспроводной связи автоматизированной системы управления Cat MineStar передаются диспетчеру для анализа [78]. Дополнительно на автосамосвалах может устанавливаться система связи Product Link, которая упрощает диагностику, сокращает время простоев, позволяет вести график технического обслуживания и сокращает расходы. Система постоянно обновляет показания счетчика моточасов, данные о состоянии машины и ее местоположении, а также позволяет планировать маршрут движения по карте.



Рисунок 1.17 – Состав системы контроля VIMS™

Для повышения срока службы узлов, сокращения расхода топлива, снижения уровня выбросов выхлопных газов, улучшения эксплуатационных показателей, диагностики оборудования автосамосвалы Komatsu оборудованы многофункциональными бортовыми системами. Контроль и анализ объема выполненных автосамосвалом работ, а также условий его эксплуатации

обеспечивается с помощью системы учета полезной нагрузки Payload Manager Meter (PLM II и PLM III), которая хранит в памяти до 2900 рабочих циклов. Данные системы используются для оптимизации перевозок, максимального увеличения производительности и снижения эксплуатационных расходов.

Система отслеживает и записывает параметры: вес перевезенного груза; пробег автомобиля (пустого и груженого); пиковые нагрузки; время каждой загрузки и разгрузки; тонно-километраж для передних и задних колес; информацию о жизненном цикле (ресурсе) автомобиля; максимальную и среднюю скорости автомобиля (пустого и груженого). Дополнительно может устанавливаться система мониторинга состояния машины Vehicle Health Monitoring System (VHMS), которая позволяет в режиме реального времени отследить и оценить техническое состояние автосамосвала и условия его эксплуатации, а также немедленно диагностировать неисправности основных компонентов двигателя и трансмиссии.

На карьерных автосамосвалах БелАЗ грузоподъемностью 75-220 тонн устанавливается комплекс бортовой диагностический КБД. Комплекс интегрирован с системой контроля загрузки и топлива СКЗиТ, системой контроля давления в шинах СКД и обеспечивает сбор, обработку, отображение и контроль параметров работы автосамосвала и включает датчики, блоки преобразования сигналов и электронную панель приборов, получающей данные по информационной CAN-шине. Обобщенная структурная схема бортового диагностического комплекса показана на рисунке 1.18.

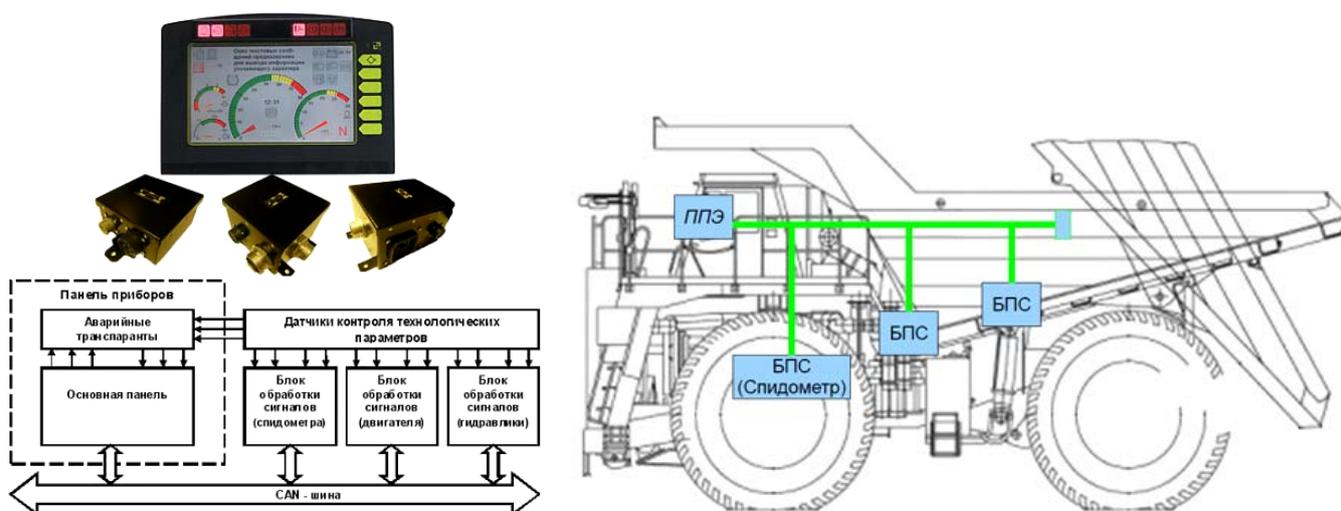


Рисунок 1.18 – Обобщенная структурная схема бортового диагностического комплекса автосамосвала БелАЗ

В бортовом диагностическом комплексе электронная панель приборов используется в качестве бортового контроллера и устройства визуализации, обеспечивающего непрерывную диагностику узлов и систем, отображение технологических параметров автосамосвала, а также сохранение в памяти журнала аварий.

Фактически бортовой диагностический комплекс автосамосвалов БелАЗ является объединенной системой контроля без функций управления бортовым оборудованием и диагностики.

В настоящее время многими производителями карьерных автосамосвалов ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию перспективных образцов многофункциональных систем диагностики и контроля, имеющих более высокий уровень интеграции и надежности, чем серийно используемые [13,46,50].

На ОАО «Белорусский автомобильный завод-управляющая компания «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» для карьерных автосамосвалов БелАЗ разработана и испытывается перспективная цифровая многофункциональная система диагностики и контроля (МСД), которая представляет собой распределенную систему на основе CAN-модулей управления с более совершенной электронной панелью оператора (модуль визуализации) (рисунок 1.19). Система обеспечивает контроль эксплуатационных и технологических параметров автосамосвала, диагностику неисправностей, управление оборудованием системы освещения, световой и звуковой сигнализацией, предупреждение о возникновении аварийных режимов работы и др. функции. Система МСД нового типа в отличие от системы, используемой в настоящее время, обеспечивает не только отображение на дисплее информации о работе систем автосамосвала, но и управление этими системами. Она обладает высокой гибкостью, может изменяться посредством перепрограммирования и объединяет в себе несколько систем. Еще одно преимущество системы МСД – наличие удаленного мониторинга, что дает возможность доступа ко всем автосамосвалам, оснащенным этой системой.

Новая многофункциональная система диагностики и контроля позволяет обеспечить ее интеграцию с системой управления роботизированного карьерного автосамосвала на основе однотипных по конструктивному

исполнению CAN-модулей. При этом возможности системы МСД используются в единой системе управления автономного автосамосвала.

Проведенный анализ бортовых систем диагностики и контроля основных производителей карьерных автосамосвалов (Caterpillar, Komatsu, БЕЛАЗ) показал, что бортовые системы развиваются не только в сторону контроля и диагностики узлов и агрегатов автотранспорта, но и контроля и анализа технологических параметров, таких как загрузка, производитель работы, наработка. Данные системы обеспечивают передачу диагностических и технологических параметров работы техники, видеоинформации в диспетчерский центр, где службы горного предприятия могут анализировать параметры работы техники, а также выдавать команды на изменение режимов работы различных бортовых систем. Все больше информация о работе карьерного автотранспорта используется не только механиками при плановых ТО, но и в течении рабочих смен диспетчерами, горными инженерами. В связи с этим, требования к созданию роботизированных систем грузоперевозок должны включать и требования к расширению функций бортовых систем диагностики техники, их надежности.

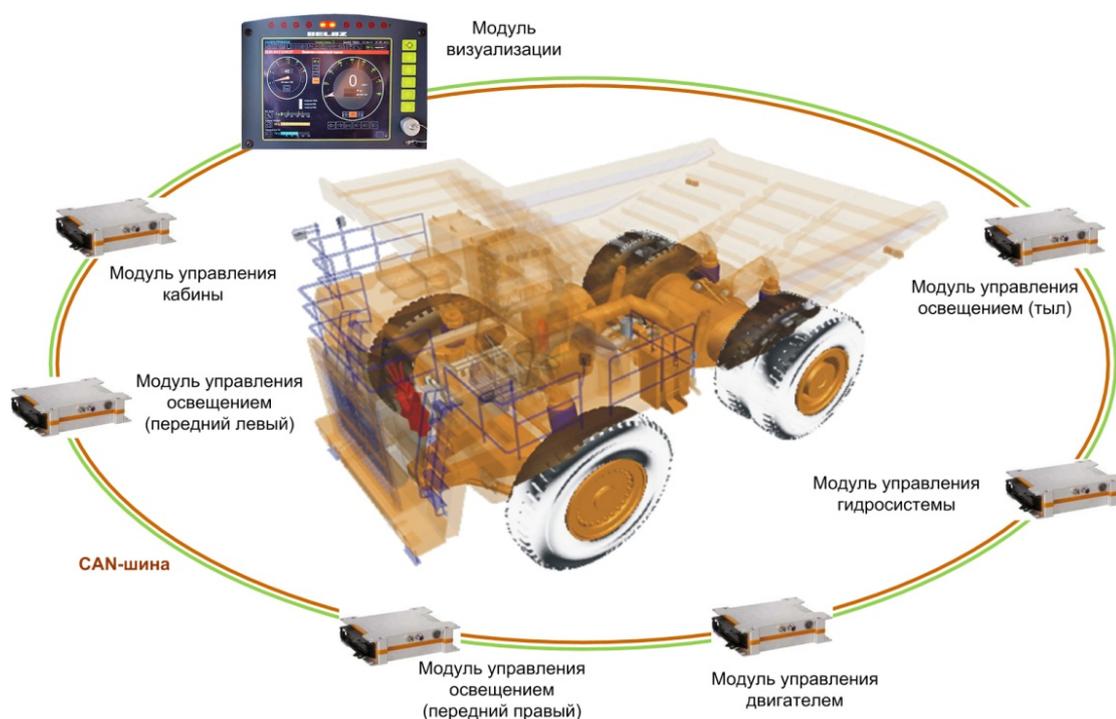


Рисунок 1.19 – Обобщенная структура многофункциональной системы диагностики и контроля автосамосвала БелАЗ

1.5. Цели, задачи и методы исследования

Проведенный анализ существующих систем автоматизации открытых горных работ и тенденций развития технологий управления автоматизированных транспортных грузоперевозок показал, что создание роботизированных систем грузоперевозок на горных предприятиях является наиважнейшей задачей развития геотехнологий открытых горных работ. В связи с этим:

Цель работы состоит в разработке и обосновании научно-технических и технологических решений по созданию и безопасному применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах.

Для реализации целей, а также разработки технико-технологических требований и решений для создания роботизированной системы грузоперевозок на горных предприятиях в диссертации решаются следующие задачи:

- проведение анализа тенденций развития автоматизированных и роботизированных транспортных технологий грузоперевозок на горных предприятиях;
- обоснование научно-методических принципов и этапов реализации роботизированной системы грузоперевозок;
- разработка технических решений и требований для дистанционного и автономного управления карьерными автосамосвалами;
- разработка методики тестирования работы роботизированного карьерного автосамосвала в условиях полигона и горнодобывающего предприятия, проведение испытаний на полигоне завода ОАО «БЕЛАЗ»;
- разработка и обоснование технологических решений для организации роботизированных грузоперевозок на горном предприятии;
- проведение оценки экономической эффективности использования роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах, разработка проектных решений по созданию и применению роботизированной системы грузоперевозок для условий ОАО «СУЭК-Хакасия».

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.

Глава 2. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

2.1. Научно-методические принципы и основные этапы реализации создания роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии

Исходя из проведенного в первой главе анализ развития систем автоматизации грузоперевозок на горных предприятиях, базисом для использования роботизированных технологий являются современные АСУ ГТК, куда в перспективе добавляются роботизированные системы грузоперевозок, а также дистанционно-управляемая техника. Принципы создания роботизированных систем грузоперевозок заключаются в модернизации элементов существующих АСУ ГТК на горных предприятиях, а именно бортовых систем, систем передачи данных, систем позиционирования и навигации, программного обеспечения.

Так как для создание роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах имеется фундаментальная научная основа, которая базируется на обширной экспериментальной базе данных, содержащей статистику движения автосамосвалов по маршрутам более чем за 5 лет на более чем 40 горнодобывающих предприятиях, которая использована для тестирования созданной программно-математической модели движения автосамосвала с целью сравнения рассчитанных параметров движения моделируемого автосамосвала и реальных показателей его движения, на разработанных методике и алгоритмах дистанционного управления самосвалом БелАЗ-75137 [26], а также на разработанном алгоритме оптимизации грузоперевозок, который воплощен в модуле «Оптимизации и автоматической диспетчеризации АСУ ГТК «Карьер».

Отдельные функциональные элементы роботизированной системы грузоперевозок уже реализованы на горных предприятиях и прошли всестороннюю проверку, подтвердившую их эффективность, поэтому серверное программное обеспечение системы рассматривается как базис для программного обеспечения роботизированной системы грузоперевозок. Также в составе системы АСУ ГТК «Карьер» разработан модуль оптимизации и автоматической диспетчеризации АСУ ГТК «Карьер», предназначенный для оптимизации

грузопотоков в карьере с целью повышения общей производительности за счет статического и динамического распределения автосамосвалов по маршрутам [27, 48]. Этот модуль уже использует методы искусственного интеллекта. Кроме того, реализовано программное обеспечение прототипа дистанционно управляемого автосамосвала, которое протестировано на организованном полигоне ОАО «Белорусский автомобильный завод» для испытания образцов роботизированной карьерной техники.

Структура роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии представлена на рисунке 2.1 [93,94].



Рисунок 2.1 – Структура роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии

Основными компонентами системы являются:

- 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.

Основные компоненты АСУ ГТК «Карьер» и роботизированной системы грузоперевозок и их функции показаны на рисунке 2.2:

- 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 карьерной техники и передачу информации в диспетчерский центр;
- система навигации ГЛОНАСС/GPS обеспечивает определение координат и скорости карьерной техники;
- система передачи данных обеспечивает прием-передачу телеметрической информации и управляющих воздействий, аудио- и визуальной и аварийной информации, а также навигационной информации: скорости и координат;
- программное обеспечение осуществляет управление и мониторинг отдельных единиц карьерной техники и в целом управление работой карьера.

Рассмотрим, как должны быть модифицированы основные компоненты АСУ ГТК «Карьер» для исключения человека из технологического процесса и создания роботизированной системы грузоперевозок.

Обобщенные сведения и функции всех основных подсистем проиллюстрированы на рисунках 2.3 – 2.6.

Бортовое оборудование (рисунок 2.3) 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 информации, а также соответствующие датчики состояния узлов и агрегатов горно-транспортного оборудования.



Рисунок 2.2 – Функции основных компонентов АСУ ГТК «Карьер» и роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии



Рисунок 2.3 – Состав и функции бортового оборудования

В случае роботизированной системы грузоперевозок 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) и видеокамер для построения цифровой динамической модели окружающего пространства и препятствий на пути следования. 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.

В АСУ ГТК «Карьер» на все мобильные объекты устанавливается навигационное оборудование (рисунок 2.4) на основе навигационных приемников ГЛОНАСС/GPS, обеспечивающих точность в плане порядка 3-5 м. Данную точность обеспечивают стандартные навигационные приемники без станций дифференциальной поправки. Этой точности достаточно для осуществления мониторинга и управления парком горно-транспортного оборудования. Высокоточными системами навигации могут оснащаться экскаваторы для осуществления селективной выемки и управления качеством полезного ископаемого, а также буровые станки, для наведения станка на точку бурения и автоматизированного исполнения задания по отработке плана бурения.

Для создания роботизированной системы грузоперевозок 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 минимизировать передачу огромных массивов информации видеоизображений 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.



Рисунок 2.4 – Состав и функции подсистемы навигации

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.

На автосамосвалы и другую горную технику 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 и надежность определения местоположения и ориентации техники в пространстве.

В современных системах управления горно-транспортными комплексами (например, АСУ ГТК «Карьер») используются различные системы беспроводной

передачи данных (рисунок 2.5), а также комбинации таких систем: 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: WiFi, WiMax, MESH-системы и др., обеспечивающие надежное радиопокрытие и высокую скорость, необходимую для передачи видеоизображений, диагностической информации и решения задач оперативного управления горно-транспортным комплексом.

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

- поддержка стандарта передачи данных 802.11n со скоростью до 300 мбит/сек 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 информацию и телеметрическую информацию о состоянии техники.
- резервирование каналов связи, которое обеспечивается использованием передачи данных на разных частотах.



Рисунок 2.5 – Состав и функции подсистемы передачи данных

Программное обеспечение (рисунок 2.6) роботизированной системы грузоперевозок - 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 горно-транспортного комплекса, ключевым программным модулем которой является система «Автоматической диспетчеризации» для оптимизации и оперативного управления техникой карьера.

В роботизированной системе грузоперевозок, базирующейся на автоматизированной системе управления горно-транспортного комплекса, появляется целый ряд ключевых программных модулей в связи с тем, что функции управления, движения и остановки автосамосвалов решают модули бортового программного обеспечения, а функции изменения маршрутов, анализа текущей ситуации выполняет серверное программное обеспечение диспетчерского центра.

Например, *модуль корректировки цифровой модели карьера*. Он предполагает две основные методики корректировки: по маркшейдерским данным и по треку автосамосвала.

Модуль дистанционного управления - осуществляет дистанционное управление автосамосвала и другой карьерной техникой из центра управления.



Рисунок 2.6 – Состав и функции программного обеспечения

Обучаемая подсистема автоматического вождения. Эта подсистема, умеющая настраиваться на входные условия и воспроизводить действия по управлению карьерной техникой в данных условиях в соответствии с заложенными шаблонами управления. Шаблоны закладываются на этапе обучения подсистемы при анализе работы реальных опытных водителей (операторов). Шаблоны могут быть двух видов: для штатного движения по навигации и графу маршрута; для маневрирования при обнаружении препятствий.

Подсистема построения модели окружающих объектов и предупреждения столкновений. Эта подсистема определяет расстояние до ближайших объектов по всем направлениям вокруг транспортного средства. По изменению расстояния во времени с учетом собственной скорости транспортного средства все окружающие объекты делятся на статические и динамические. Подсистема обеспечивает выдачу управляющей подсистеме актуальной модели, а также специальных предупреждающих сигналов, при которых управляемое транспортное средство должно изменить параметры своего движения. Помимо простого распознавания объектов надо получать скорость и траекторию их движения, рассчитывать безопасные расстояния или предупреждать о вхождении другого объекта в «зоны опасности», каждая из которых классифицируется как «внимание», «опасность», «стоп машина».

Модуль оперативного управления и оптимизации. В проекте «Интеллектуальный карьер» для работы этого модуля необходима информация о координатах пунктов разгрузки и погрузки, заправок, соединяющего их графа дорог, свойствах дорог, привязанных к элементам графа, а также другие параметры, без которых роботизированная работа карьерной техники невозможна.

Один из основных принципов построения программного обеспечения роботизированной системы грузоперевозок заключается в следующем.

Для достижения максимальной производительности системы необходимо, чтобы карьерная техника не останавливалась и не прекращала своей работы даже при кратковременном отсутствии связи или задержке в обработке данных на сервере. Для этого необходимо обеспечить максимальную автономность бортового программного обеспечения, 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. За сервером диспетчерского центра необходимо оставить функции контроля за безопасностью движения, прогнозирования опасных ситуаций и оповещения оператора при возникновении нештатных ситуаций, когда требуется непосредственное удаленное управление автосамосвалами и другой техникой, решение оптимизационных задач и ведение цифровой модели карьера, а также общую функцию автоматической диспетчеризации и оптимизации работы ГТК.

При создании роботизированной системы грузоперевозок необходимо также учесть следующие условия работы структурных элементов:

- обеспечение надежной работы систем передачи данных в условиях открытых горных работ, размещение базовых станций, борьба с электромагнитными помехами, работа при низких температурах и т. д.;

- разработка бортовых контроллеров (промышленных компьютеров) и их программного обеспечения, различных датчиков, а также управляющих механизмов на автосамосвалах, другой горной техники должна обеспечивать надежность удаленного управления;

- развитие серверного программного обеспечения должно обеспечивать совершенствование базы данных, ее быстродействия и базового веб-интерфейса;

- Модуль автоматической диспетчеризации и оптимизации должен быть доработан с учетом обновленных критериев оптимизации, связанных со временем работы каждого из роботизированных автосамосвалов. Смена работы автономного транспорта становится кратна не 8-12 часам, а рассчитывается исходя из времени плановых ТО и ремонтов.

Разработка роботизированной системы грузоперевозок представляет собой сложную научно-техническую задачу, решение которых 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). Поэтому этот процесс рационально разделить на этапы [94],

включающие различную степень роботизации элементов технологии горных работ. Этапы, которые мы считаем рационально выделить для последовательной отработки технологий роботизированных систем грузоперевозок на горных предприятиях:

1) разработка роботизированной системы грузоперевозок горной массы автосамосвалами по фиксированному маршруту между стационарными пунктами погрузки-разгрузки;

2) создание роботизированной системы грузоперевозок горной массы автосамосвалами между экскаваторами и пунктами разгрузки без оснащения дистанционным управлением экскаваторов и другой техники;

3) создание роботизированной транспортной линии грузоперевозок горной массы автосамосвалами с использованием дистанционно-управляемой техники (экскаваторы, бульдозеры, погрузчики и др.).

2.2. Технические и технологические условия создания роботизированной системы грузоперевозок на открытых горных работах

При работе роботизированной транспортной технологии грузоперевозок автосамосвалами между экскаваторами и пунктами разгрузки, не оснащенных оборудованием дистанционного управления, погрузка роботизированного автосамосвала должна осуществляться экскаватором, а его разгрузка - на отвале или складах. При этом постоянно меняется цифровая модель карьера открытой добычи, граф дорог, а также координаты мест погрузки и разгрузки.

Движение роботизированного автосамосвала осуществляется в автоматическом режиме по технологическим дорогам карьера, при этом его подъезд под погрузку и разгрузку осуществляется с помощью дистанционного управления. Это связано со сложностью алгоритмов подъезда под погрузку и разгрузку автосамосвала.

Кроме того, определяются безопасные условия нахождения оператора погрузочной техники (экскаватора) в его кабине во время работы автосамосвала, управляемого дистанционно.

При работе роботизированной системы грузоперевозок горной массы автосамосвалами с использованием дистанционно-управляемой из диспетчерского центра погрузочной техники (экскаваторы/погрузчики) водители автосамосвалов полностью исключаются из производственного процесса. При

этом основную часть маршрута автосамосвал будет двигаться автоматически и только в зонах погрузки и разгрузки управление переходит к оператору.

Помимо этого, в зависимости от конкретных условий, могут быть выделены дополнительные зоны дистанционного управления. Выделение данных зон зависит от возникновения нелинейности движения роботизированных автосамосвалов по маршруту, то есть необходимости включать в алгоритм движения от пункта погрузки по пункта разгрузки дополнительных условий принятия решений по остановке или объезду, например железнодорожные переезды, зоны заправок или технического обслуживания, пересечение маршрутов движения с технологическими дорогами по которым движется техника, управляемая традиционным способом

Роботизированные автосамосвалы должны обеспечивать работу в следующих основных операционных режимах:

- автоматический- полностью автономное движение на основе алгоритма движения, загруженного графа дорог и конкретного пути, а также системы предотвращения столкновений и объезда препятствий;

- дистанционно управляемый режим с радиоконтролем;

- ручное управление. Так как в настоящий момент роботизированные автосамосвалы возможно использовать только на участках горных работ со специально созданными техническими условиями, а не на всем карьере, то для обеспечения универсальности использования техники, автосамосвалы должны иметь возможность использоваться и в режиме ручного управления для транспортировки их на другие участки или выведения техники с данного участка грузоперевозок.

К функциям автоматического режима относится: программное управление движением автосамосвала, ускорение, торможение, контроль скорости движения, автоматическая разгрузка платформы.

К функциям дистанционного режима относится: дистанционное управление движением автосамосвала на пунктах погрузки и разгрузки и в других специализированных для данного участка зонах, где требуется дистанционное управление роботизированного автосамосвала, управление самосвалом в непредвиденных ситуациях, таких как непредвиденные препятствия, обнаруженные радаром или лидаром, ошибки автономного управления автосамосвалов, приведшие к совершению автосамосвалом непредвиденных маневров, или неустойчивая работа бортовой компьютерной

системы дистанционного управления автосамосвалом, а также мгновенная остановка автосамосвала).

Работа автосамосвалов в этой связи может быть организована из диспетчерского центра дистанционного управления. Технологический диспетчер, находящийся в диспетчерском центре дистанционного управления, расположенного на значительном расстоянии от места применения роботизированной системы грузоперевозок, по каналам беспроводной связи может задавать роботизированным автосамосвалам (движущихся без водителей) маршрут и скорость, а система глобального позиционирования и инерциальной навигации устанавливает их местоположение.

При применении этого подхода автосамосвалы направляются под погрузку в заданную точку автоматически, совпадающую с местоположением ковша экскаватора, координаты которого определяются с помощью ГЛОНАСС/GPS-навигатора, встроенного в механизм гидравлического экскаватора или колесного погрузчика. Технологический диспетчер также передает автосамосвалам данные о курсе следования к точке разгрузки.

С точки зрения безопасности система управления ГТК должна быть организована таким образом, чтобы исключить столкновение автосамосвалов друг с другом, а также со спецмашинами и прочим оборудованием на территории участка роботизированных грузоперевозок. Если в поле обзора системы обнаружения препятствий попадает другое транспортное средство или человек, оказавшиеся на линии передвижения машин, управляемых системой автономных грузоперевозок, они снизят скорость или немедленно остановятся.

Анализ ситуаций, которые требуют вмешательства диспетчера в работу роботизированного автосамосвала, показывает, что диспетчер, находящийся в удаленном центре дистанционного управления, должен своими глазами видеть сложившуюся ситуацию, а также иметь возможность изменить ее, чтобы выполнить или завершить нужный элемент технологии роботизированной транспортировки грузов между стационарными пунктами погрузки-разгрузки.

Для создания роботизированной системы грузоперевозок горной массы автосамосвалами по фиксированному маршруту между стационарными пунктами погрузки-разгрузки необходимо:

1. Построить:

- отдельную дорогу для движения роботизированных автосамосвалов, по которой будет запрещено передвижение людей и транспортных средств с людьми или выделить отдельный участок горных работ;

- погрузочный комплекс таким образом, чтобы автосамосвал для установки под погрузку не мог выехать к месту работы людей и техники, управляемой людьми. Оператор погрузочного комплекса должен находиться в безопасном месте и при этом иметь хороший обзор места погрузки и подъезда к нему;

- бункер для разгрузки автосамосвала или определить склад разгрузки, выделенный отдельно от традиционного места разгрузки автосамосвалов, управляемых водителями;

- площадку для проведения ежемесячного обслуживания. На этой площадке водитель будет садиться в кабину для перемещения в зону технического обслуживания (ТО) и когда он покинет автосамосвал и площадку, автосамосвал может начинать движение автоматически.

2. Создать:

- систему беспроводной передачи данных, обеспечивающую возможность передачи телеметрии и видео с каждого роботизированного автосамосвала. Дополнительно должен быть создан альтернативный канал, использующий другой частотный ресурс для подачи команд аварийной остановки;

- систему видеонаблюдения за погрузочным пунктом, местом разгрузки, дорогой для движения роботизированных автосамосвалов, регулируемые переездами и площадками для проведения ТО. В данных зонах роботизированные автосамосвалы будут переключаться в режим дистанционного управления.

3. Установить базовую станцию дифференциальных поправок навигационных приемников ГЛОНАСС/GPS для высокоточной сантиметровой навигации технологического транспорта.

4. Оборудовать пункт дистанционного управления автосамосвалами и обеспечить круглосуточное дежурство как минимум одного водителя для принятия на себя управления в экстренных случаях, если требуется изменение стандартного маршрута движения, есть сложность для автоматического подъезда к местам погрузки и разгрузки.

С точки зрения методологии оперативного управления роботизированными системами грузоперевозок исходя из анализа проведенного по управлению открытыми горными работами с использованием АСУ ГТК предлагается, что роботизированные системы будут полностью управляться АСУ ГТК и их информационный поток передачи данных связан с АСУ ГТК и системой дистанционного управления техникой, при чем в АСУ ГТК должны быть разработаны модули для выдачи сменных заданий для роботизированной техники. Очевидно, что смена роботизированного самосвала не должна быть равной традиционной смене работы автотранспорта на горном предприятии. Функциональные интеграционные связи роботизированной системы грузоперевозок в общей схеме информационных систем горного предприятия показаны на рисунке 2.7



Рисунок 2.7. Функциональные интеграционные связи роботизированных системы грузоперевозок в периметре информационных систем горного предприятия

Анализ возможных режимов применения роботизированных транспортных систем грузоперевозок показывает, что такого рода системы управления могут обеспечить бесперебойную разработку месторождений в сложных экстремальных условиях, при включении их в современные АСУ ГТК и

соблюдение технических условий использования роботизированных систем грузоперевозок. Оптимизируя рабочий процесс, внедрение системы позволяет увеличить производительность, помогает существенно сократить расходы на техобслуживание, персонал.

2.3. Выводы по второй главе

1. Сформулированы научно-методические принципы создания роботизированных систем грузоперевозок добычи полезных ископаемых, заключающиеся в обосновании разработки автономного и дистанционного управляемого автосамосвала, модернизации бортового оборудования, систем связи, систем навигации и программного обеспечения существующих АСУ ГТК.

2. Определены основные направления модернизации компонентов АСУ ГТК «Карьер», включающие в себя модернизацию бортового оборудования, систем связи, высокоточной навигации и серверного и бортового программного обеспечения, а также включения новых компонентов управления роботизированной системой грузоперевозок, таких как система предотвращения столкновений, система видеобзора и дистанционного управления техникой.

3. Определены основные этапы создания роботизированной системы грузоперевозок на горных предприятиях, включающие создание роботизированной системы грузоперевозок горной массы автосамосвалами по фиксированному маршруту между стационарными пунктами погрузки-разгрузки; создание роботизированной системы грузоперевозок горной массы автосамосвалами между экскаваторами и пунктами разгрузки без оснащения дистанционным управлением экскаваторов и другой техники; создание роботизированной транспортной линии грузоперевозок горной массы автосамосвалами с использованием дистанционно-управляемой техники (экскаваторы, бульдозеры, погрузчики и др.).

4. Определены технические и технологические условия создания роботизированной системы грузоперевозок на открытых горных работах, включающие себя требования к созданию дополнительной технологической инфраструктуры, интеграции в общую схему управления горными работами и ГТК.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ И РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА КАК ЭЛЕМЕНТА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

3.1. Архитектура программного обеспечения и алгоритм движения роботизированного и дистанционно-управляемого карьерного автосамосвала

Для реализации технологических операций транспортных грузоперевозок система управления роботизированного и дистанционно управляемого карьерного автосамосвала с электромеханической трансмиссией переменного или постоянного тока и ее программное обеспечение должны обеспечивать идентичных функций работы автосамосвала с водителем: пуск, останов и управление оборотами дизельного двигателя; сборку схемы электропривода в тяговом режиме; управление электромеханической трансмиссией в соответствии с логикой работы системы управления тяговым электроприводом; поворот управляемых колес в зависимости от выбранного направления движения; управление стояночным тормозом и рабочей тормозной системой; управление опрокидывающим механизмом; управление оборудованием системы освещения, световой и звуковой сигнализации, жалюзи радиатора двигателя аналогично штатному; контроль работоспособности систем, агрегатов и узлов автосамосвала; автономное движение автосамосвала по выбранному маршруту к месту загрузки или разгрузки с удаленным контролем прохождения маршрута из рабочего места оператора (диспетчерского центра); маневрирование автосамосвала при движении, разъезд со встречным транспортом, определение препятствий и предотвращение столкновений; аварийный останов автосамосвала в движении при возникновении нештатных ситуаций с рабочего места оператора (включение кнопки аварийного останова) и автоматическую остановку в движении при пропадании управляющего канала радиосвязи, сбое бортового контроллера, исчезновении напряжения питания бортовой сети.

Алгоритм управления движением роботизированного автосамосвала по заданной траектории реализован в так называемом методе «погони», при котором система автоматического управления в каждый момент времени осуществляет наведение на целевую точку маршрута путем минимизации

рассогласования между текущим вектором скорости автосамосвала и направлением на точку [38,90].

Сигнал, вырабатываемый системой управления, пропорционален углу рассогласования, косинус которого характеризует величину промаха, а синус – направление его углового отклонения в топоцентрической системе координат. Благодаря использованию угла в качестве параметра наведения минимизируется влияние шумовых составляющих, присутствующих в фазовом векторе. Геометрическая схема процесса наведения представлена на рисунке 3.1.

Величина угла поворота колес определяется соответствующим сигналом управления требуемого изменения угла курса. Это значение передается в бортовой контроллер, который управляет шаговым двигателем рулевого механизма автосамосвала для отклонения рулевых колес на соответствующую величину. При этом угол фактического поворота рулевых колес контролируется датчиком обратной связи, сигнал с которого обрабатывается бортовым контроллером и передается в систему управления в виде текущего значения угла поворота автосамосвала (курса).

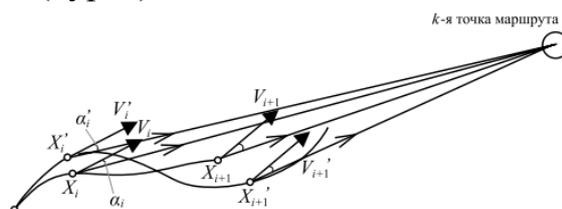


Рисунок 3.1 - Схема работы системы наведения роботизированного автосамосвала при движении по маршруту

Следует отметить, что алгоритм управления направлением движения прототипа по траектории должен учитывать ширину дороги для данного типа автосамосвала, его геометрические, кинематические и динамические характеристики.

Анализ реализованных проектов роботизированных карьерных автосамосвалов ведущих мировых производителей позволяет выделить общую архитектуру программного обеспечения, которая обеспечивает выполнение и контроль операций бортовой системы управления роботизированным автосамосвалом: получение и обработка данных с датчиков; объединение и согласование полученных данных; обработка изображений; определение характеристик препятствий, дорожных условий и транспортных средств в направлении движения; определение характеристик дорожного полотна; построение цифровой карты; позиционирование автосамосвала и определение

текущего состояния системы; принятие решений; управление исполнительными устройствами и системами; удаленный доступ и управления исполнительными системами автосамосвала; ведение журнала полученных данных для последующего их анализа.

Система управления роботизированным карьерным автосамосвалом, осуществляющая обработку сенсорных данных и принятие управляющего решения, является многоуровневой. Это позволяет разделить задачи на узкоспециализированные, что упрощает отладку и коллективную разработку программы.

Структура программного обеспечения роботизированного и дистанционно управляемого карьерного автосамосвала показана на рисунке 3.2 и включает следующие программные модули: модуль обработки видеоизображения; модуль управления автономным движением; модуль управления движением в режиме дистанционного управления; модуль первичной обработки сигналов. Нижний программный уровень отвечает за взаимодействие с датчиками и исполнительными устройствами; верхний - за реализацию алгоритма автономного управления автосамосвалом.



Рисунок 3.2 – Структура программного обеспечения роботизированного и дистанционно управляемого карьерного автосамосвала

Для функционирования бортового контроллера автосамосвала и контроллера рабочего места оператора используется программное обеспечение нижнего уровня, а для выполнения алгоритмов автономного управления - программное обеспечение верхнего уровня бортового компьютера с использованием данных системы высокоточной спутниковой навигации, системы предотвращения столкновений и других сенсоров. На основе полученной траектории программное обеспечение нижнего уровня осуществляет управление скоростью и положением рулевых колес автосамосвала.

Программное обеспечение нижнего уровня отвечает за управление исполнительным оборудованием и системами автосамосвала при пуске двигателя, начале движения, управлении оборотами, торможении, остановке, а также при выполнении технологических операций погрузки и разгрузки - управление опрокидывающим механизмом. Для выполнения этих стандартных операций, используются автономные подпрограммы, выполняемые бортовым контроллером самостоятельно.

Таким образом архитектура программного обеспечения является распределенной между решениями задач сбора и анализа информации с датчиков и бортовых систем, а также построения алгоритмов управления самим роботизированным автосамосвалом и связью с диспетчерским центром и обеспечением дистанционного управления автосамосвалом.

3.2. Структурная схема дистанционного управления карьерным автосамосвалом

На основании исследования электрических схем карьерного автосамосвала 75137 и принятого решения оставить возможным ручное управление автосамосвалов было принято для обеспечения дистанционного управления карьерным автосамосвалом по каналам беспроводной передачи включить с схему соответствующее оборудование, размещенное на борту автосамосвала – бортовую систему (БС) и специально оборудованное рабочее место оператора (РМО).

Обобщенная структурная схема системы дистанционного управления автосамосвалом представлена на рисунке 3.3.

Бортовой контроллер обеспечивает управление пневмостартерным пуском двигателя, рулевым механизмом, тормозной системой, оборотами дизельного двигателя, режимами работы тягового электропривода, опрокидывающим механизмом, системой освещения, световой и звуковой сигнализации по командам оператора, передаваемых по каналу беспроводной передачи данных от контроллера РМО. Для сохранения ручного режима управления автосамосвалом входы/выходы контроллера подключены параллельно соответствующим электрическим цепям задействованных органов управления, исполнительных механизмов и устройств.

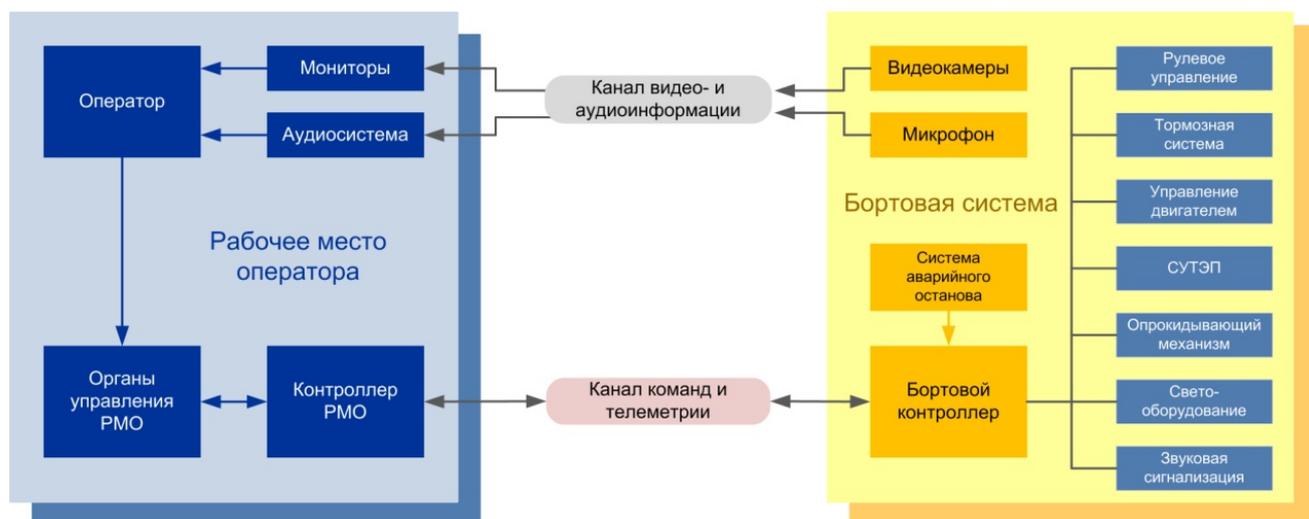


Рисунок 3.3 - Обобщенная структурная схема системы дистанционного управления карьерным автосамосвалом

Для обеспечения управления рулевым механизмом на автосамосвале устанавливается дополнительный гидроусилитель потока, подключаемый параллельно штатному для сохранения ручного управления, шаговый двигатель с датчиком угла и скорости вращения вала и энкодер положения управляемых колес.

Управление торможением автосамосвала осуществляется путем формирования бортовым контроллером сигнала управляющего воздействия, пропорционального углу нажатия тормозной педали на рабочем месте оператора и дискретного сигнала стояночного тормоза.

Сигналы видеоизображения от видеокамер переднего, бокового и заднего обзора и сигнал звукового контроля работы двигателя по каналу беспроводной передачи данных передаются для отображения на дисплеи и аудиосистему РМО соответственно.

Структура рабочего места оператора была разработана конструкторами ОАО «БЕЛАЗ». Рабочее место оператора оснащено комфортабельным сиденьем, рулевым колесом и органами управления как в кабине серийного автосамосвала, приборной панелью (рисунок 3.4). На дисплеях отображается дорожная обстановка в реальном времени. Для имитации присутствия в кабине автосамосвала обеспечено прослушивание работы дизельного двигателя. Эргономическая конструкция рабочего места оператора позволяет оператору безопасно управлять автосамосвалом на расстоянии в естественной обстановке симулятора кабины и выполнять практически все функции автосамосвала.

Контроллер РМО осуществляет прием сигналов от органов управления, их обработку, формирование и передачу команд на бортовой контроллер автосамосвала по каналу беспроводной связи.

Для повышения безопасности управления предусмотрена система аварийного останова, которая обеспечивает принудительную остановку автосамосвала в движении при возникновении нештатных ситуаций с рабочего места оператора (включение кнопки аварийного останова) и автоматическую остановку в движении при пропадании управляющего канала радиосвязи, сбое работы бортового контроллера, исчезновении напряжения питания бортовой сети.



Рисунок 3.4 – Вид рабочего места оператора системы дистанционного управления автосамосвалом

Апробация работоспособности алгоритмов и элементов дистанционного управления робототизированного карьерного автосамосвала 75137 в условиях заводского полигона «БЕЛАЗ» в 2011-2013 гг. подтвердила правильность выбранных технических решений, которые уже в настоящее время могут быть внедрены на серийных карьерных автосамосвалах БЕЛАЗ [76].

В общем случае, разработанная обобщенная структурная схема системы дистанционного управления карьерным автосамосвалом является неотъемлемой частью роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии и используется для работы автосамосвала в режиме дистанционного управления при нахождении в зонах, где необходимо переходить от автономного движения к телеуправлению. В роботизированной системе грузоперевозок данные зоны

являются: подъезд под погрузку, разгрузку, зона ремонта и пересменки, а также участки пересечений с техническими дорогами пользования техники в режиме ручного управления водителями и операторами. Данная структура дистанционного управления является полностью адаптированной для включения в нее бортового оборудования автономного или полностью роботизированного управления карьерным автосамосвалом.

3.3. Структурная схема автономного управления карьерным автосамосвалом

Основным отличием автономного роботизированного автосамосвала от автосамосвала с дистанционным управлением является возможность его работы в автоматическом режиме под управлением бортового компьютера с использованием данных системы высокоточной спутниковой навигации (возможна интеграция с инерциальной навигационной системой для обеспечения надежности навигационных измерений), системы предотвращения столкновений на основе лидаров и радаров. Оператор, находящийся в удаленном рабочем месте (диспетчерском центре), может обеспечивать контроль работы автосамосвала и, при необходимости, задание маршрута движения и выключение автономного режима. Структурная схема системы автономного и дистанционного управления роботизированного автосамосвала включает в себя две части (рисунок 3.5):

- бортовое оборудование;
- оборудование рабочего места оператора.

Для управления автосамосвалом в рамках роботизированной системы грузоперевозок должен обеспечиваться ручной режим управление из кабины, дистанционное управление с удаленного рабочего места (диспетчерского центра) и непосредственное автономное (программное) управление от бортового компьютера при движении роботизированного автосамосвала по заданному маршруту. Система должна обеспечивать высший приоритет ручного управления перед автоматическим (дистанционным) режимом.

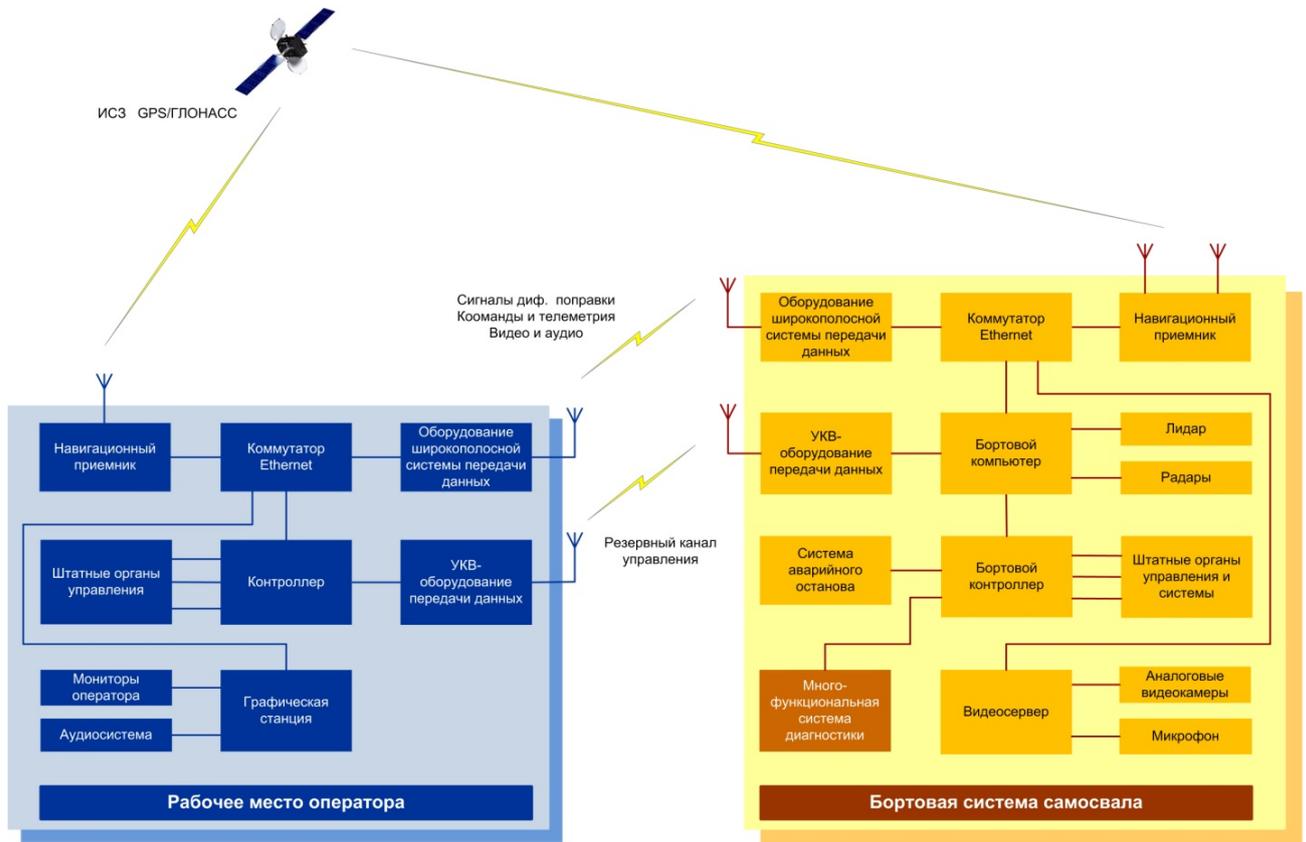


Рисунок 3.5 - Обобщенная структурная схема системы дистанционного управления роботизированным автосамосвалом

Для обеспечения сантиметровой точности, которая необходима для разезда 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/ГЛОНАСС, 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 (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 от 4 до 11-12 спутников одновременно, что обеспечивает точность позиционирования автосамосвала и движение по заданной траектории с сантиметровой точностью (+-5 см отклонение от центра транспортного средства). В системе управления АСУ ГТК должны быть предусмотрена возможность отображения местоположения роботизированного автосамосвала на цифровой карте местности и на дисплее рабочего места оператора.

Точность позиционирования зависит от ряда факторов, в том числе ошибки оборудования навигационных спутников, ошибки GPS/ГЛОНАСС приемника и ошибки распространения спутникового сигнала. Источниками ошибок могут быть следующие причины [7-9]: недостаточное количество видимых спутников в северных широтах и глубоких карьерах; неточность эфемерид и ошибки спутниковых часов; помехи отраженного сигнала на антенну спутникового приемника; 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 систем. Оптимально применение слабо связанной навигационной системы на основе блока бесплатформенной инерциальной системы (БИНС) и двухканального навигационного приемника GPS/ГЛОНАСС. 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/ГЛОНАСС позволяет определять его положение в глобальной системе координат. Инерциальная система характеризуется высоким темпом выдачи информации – порядка 100 Гц, но при продолжительном интегрировании значительно накапливается ошибка. Глобальная спутниковая навигационная система обладает меньшей частотой 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.

В системе видеообзора и аудиоконтроля сигнал с аналоговых камер передается на видеосервер для обеспечения сжатия и передачи потокового видео через широкополосную систему передачи данных. В видеосервере изображение передается в формате PAL и/или NTSC с разрешением до 704x576 точек на скорости 25 кадров/сек (PAL) на канал. Поступающие аналоговые сигналы оцифровываются и сжимаются. Кроме того, видеосервер оснащен аудиоканалом для двунаправленной передачи звука по сети беспроводной передачи WiFi. Максимальная задержка IP кадров составляет не более 0,2 с, скорость передачи данных – 6 Мбит/с (25 кадров в секунду, 720x576).

Для отображения видео на дисплеях удаленного рабочего места оператора используется графическая станция. Дисплеи обеспечивают возможность мультиэкранного режима для вывода изображений от нескольких видеокамер на один дисплей и автоматическую коммутацию видеосигналов с видеокамеры переднего обзора на заднюю камеру и наоборот. Кроме того, на одном из дисплеев может отображаться цифровая карта местности с отображением местоположения и координат автономного автосамосвала. Вариант рабочего места оператора центра управления показан на рисунке 3.6.

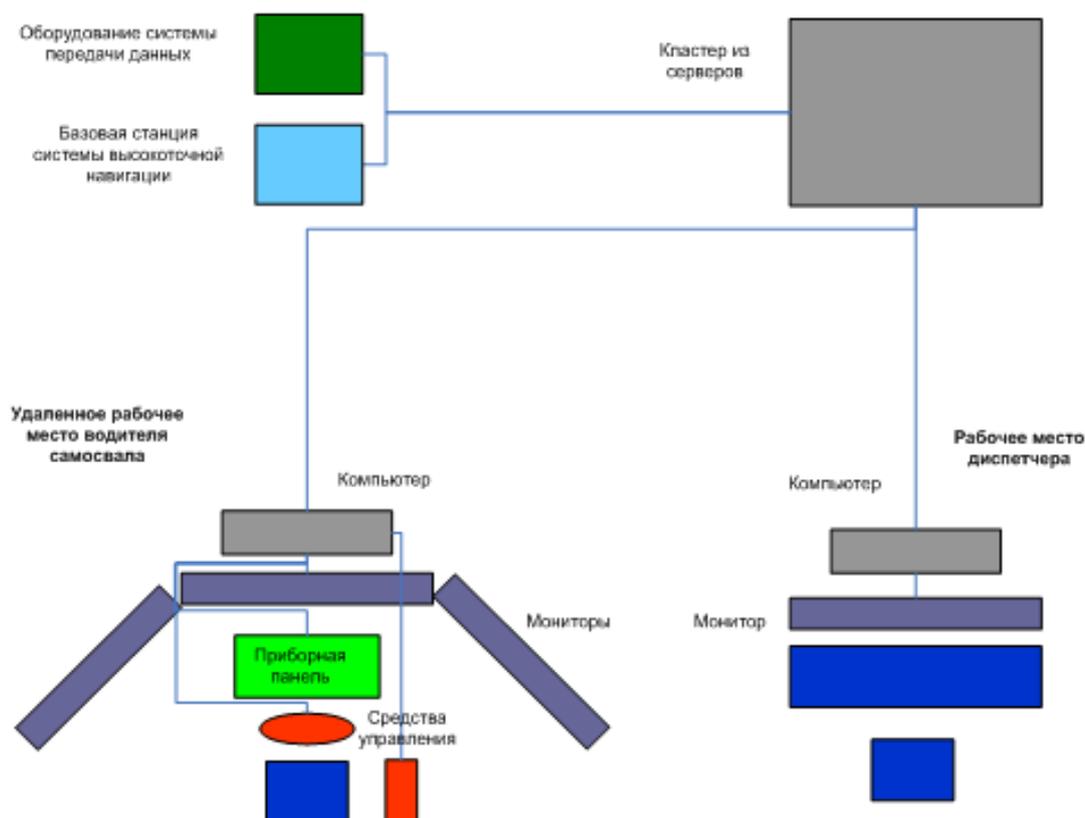


Рисунок 3.6 – Структура центра управления с рабочим местом оператора

Для обеспечения безопасности система предотвращения столкновений на основе лидара и радаров выводит отображение опасных границ на дисплее рабочего места оператора и выдает предупреждающие звуковые сигналы до препятствий. Если автосамосвал, работающий в режиме автономного управления, достигает такой границы, на основе данных датчиков обнаружения, алгоритм программного обеспечения бортового компьютера активирует функцию остановки (торможение) автосамосвала для исключения контакта с препятствием. После остановки автосамосвала и отключения функции дистанционного управления двигатель продолжает работать.

Для обеспечения автономного управления карьерным автосамосвалом используется система широкополосной беспроводной передачи данных в диапазоне частот 2,4 – 5 ГГц, которая обеспечивает передачу и прием команд управления и сигналов, видео и аудиоинформации, дифференциальных поправок, активацию автономного режима и удаленную загрузку в память бортового компьютера траекторий маршрутов движения, а также оперативный план грузоперевозок.

В качестве средств беспроводной передачи данных может быть использовано оборудование типа mesh-сеть, обеспечивающее безопасную и устойчивую связь с высокой пропускной способностью на основе адаптивных, портативных, самоорганизующихся радиомодемов (точек доступа) стандарта IEEE 802.11n.

Система управления должна обеспечивать контроль работоспособности бортовых систем и узлов самосвала с использованием данных, например, многофункциональной системы диагностики (МСД). Для этого целесообразно обеспечить интеграцию бортовой системы автономного управления с многофункциональной системой диагностики МСД. Архитектура бортовой системы управления роботизированного карьерного автосамосвала с многофункциональной системой диагностики представлена в виде схемы, показанной на рисунке 3.7.

Основу системы управления составляют бортовой компьютер, модуль управления и команд (бортовой контроллер нижнего уровня) и модуль и управления МСД (контроллер с функциями МСД и управления). Функции модуля управления и команд аналогичные как у бортового контроллера системы дистанционного управления. Он обеспечивает управление пневмостартерным пуском дизельного двигателя, электроприводом рулевого управления, электрогидравлическим приводом рабочей тормозной системы, газа, опрокидывающим механизмом и др.

Таким образом, интеграция распределенного бортового оборудования бортовой системы автономного управления и системами диагностики и в идеальном случае с многофункциональной системой диагностики МСД на основе унификации оборудования, применения единых алгоритмов управления и программного обеспечения, позволит создать современный роботизированный карьерный автосамосвал на уровне ведущих мировых производителей, который будет являться ключевым элементов роботизированной системы грузоперевозок, интегрированных в современные АСУ ГТК.

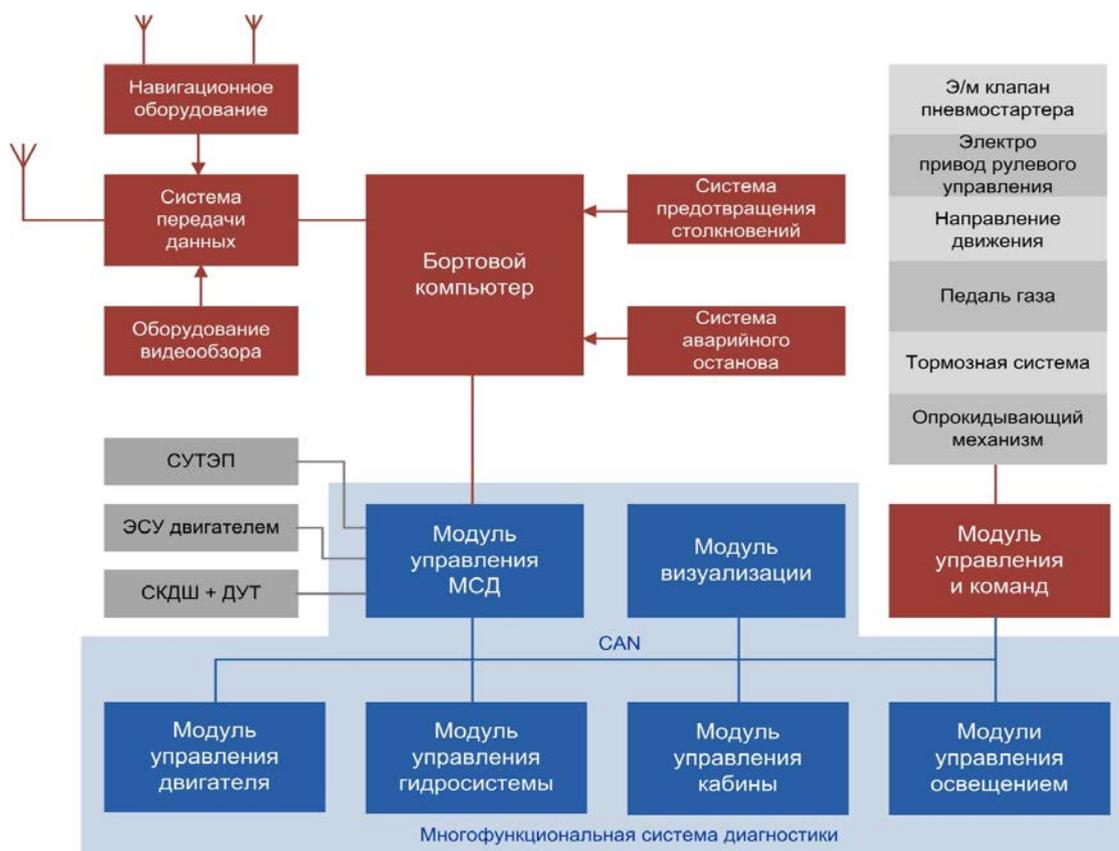


Рисунок 3.7 - Структурная схема системы управления роботизированного карьерного автосамосвала с системой МСД

3.4. Перспективные решения по модернизации конструкции роботизированного автосамосвала

Разработка дистанционных и автономных автосамосвалов, позволяет внести коренные изменения в конструкции карьерных автосамосвалов. При применении безлюдных технологий ряд элементов конструкции автосамосвалов становятся избыточными. Такими элементами могут быть кабина автосамосвала, фонари, другое оборудование, связанное с использованием автосамосвала водителем. Совместные работы ВИСТ Групп и БЕЛАЗ и исследования по созданию дистанционно-управляемого и роботизированного карьерного автосамосвала позволили сформулировать видение первые требования для конструкторского отдела завода концептуальных моделей карьерных автосамосвалов будущего. Данные автосамосвалы принципиально имеют другую конструкцию, причем за счет устранения кабины из конструкции автосамосвала может быть проработано увеличение грузоподъемности автосамосвала (может быть увеличен на 5 %) (рисунок 3.8).

Данная модель является концептуально возможной конструкцией роботизированного автосамосвала. В ближайшей время маловероятно, что будут востребованы бескабинные автосамосвалы, так как первым этапом реализации проекта «Интеллектуальный Карьер», является создание роботизированных систем грузоперевозок, где автосамосвалы должны работать как в автономном режиме, так и в режиме дистанционного управления, где все активаторы ставятся параллельно управляющим механизмам работы автосамосвала для возможного его использования традиционным методом. Но в перспективе такие автосамосвалы должны заменить традиционные конструкции, так как и в производстве, и в стоимости для заказчика они станут коммерчески обоснованными.



Рисунок 3.8 – Концепт-модель карьерного автосамосвала без кабины с увеличенным объемом кузова

Благодаря отсутствию кабины водителя в конструкции существенно снижается стоимость транспортного средства. Переход к такой модели может стать новым стандартом в создании роботизированных карьерных самосвалов в будущем.

3.5. Выводы к третьей главе

1. Разработана архитектура программного обеспечения роботизированного и дистанционно-управляемого карьерного автосамосвала, обобщенные структурные схемы управления роботизированного и дистанционно-управляемого карьерного автосамосвала.

2. Разработаны обобщенные структурные схемы дистанционно-управляемого и полностью автономного карьерного автосамосвалов, с указанием технических требований к бортовому оборудованию.

3. Определены технические требования и решения создания дистанционно-управляемого и автономного карьерного автосамосвала, как элемента роботизированных систем грузоперевозок, включенного в современную АСУ ГТК.

4. Определены перспективные направления по модернизации конструкции роботизированного карьерного автосамосвала.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

4.1. Общие требования к организации технологической инфраструктуры роботизированной системы грузоперевозок

Для обеспечения функционирования роботизированной транспортной системы грузоперевозок необходимо создание соответствующей инфраструктуры. Как правило, в карьере имеется несколько забоев, в каждом из которых находится один экскаватор (в некоторых случаях его работу выполняет погрузчик) [56]. Кроме забоев, экскаваторы или погрузчики могут находиться и на перегрузочных складах. Задача экскаватора и погрузчика – погрузить горную массу на платформу автосамосвала. Задача автосамосвала заключается в транспортировке горной массы от экскаватора или другого погрузочного комплекса на пункт разгрузки, которым может являться склад, перегрузка, бункер и т.п. Задача бульдозера заключается в подготовке площадки в зонах погрузки и разгрузки, выравнивании дорог. Часть из этих операций могут выполнять и погрузчики.

Рассмотрим организацию работы роботизированного участка горных работ (рисунок 4.1), который включает:

- выделенный маршрут движения автосамосвалов;
- автономные (роботизированные) автосамосвалы (от 1 до 10);
- бункер или экскаватор;
- пункт разгрузки: склад или отвал;
- грейдер для дорожных работ;
- бульдозер для работы на складе или отвале.

Для управления технологическими операциями роботизированной системы грузоперевозки развертывается центр управления в составе:

- рабочее место водителя (дистанционный пульт управления);
- рабочее место диспетчера;
- сервер;
- оборудование системы передачи данных;
- базовая станция дифференциальной поправки.

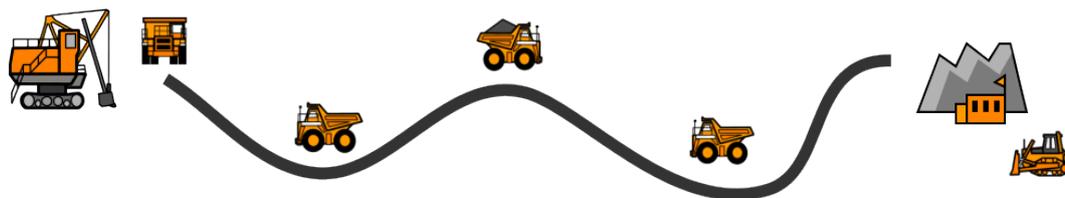


Рисунок 4.1 – Состав роботизированного участка грузоперевозок

Для обеспечения управления горно-транспортным оборудованием и контроля их работы создается надежная инфраструктура высокоскоростной широкополосной системы передачи данных (рисунок 4.2).

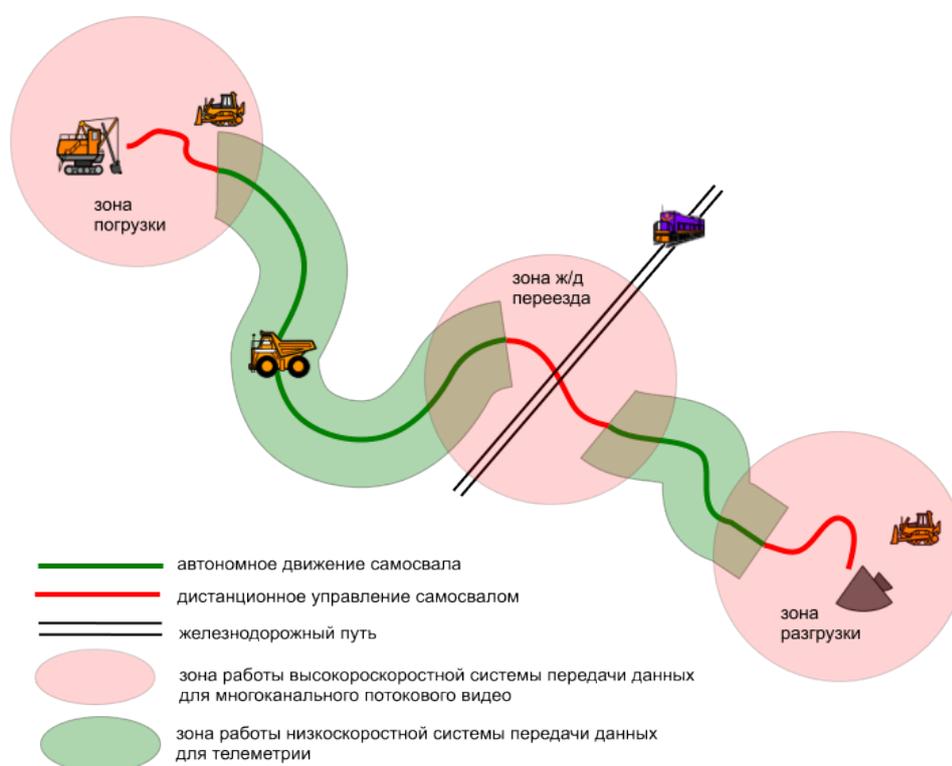


Рисунок 4.2 – Зоны работы высокоскоростной широкополосной системы передачи данных роботизированного участка

Учитывая, что экскаваторы, бульдозеры и погрузчики работают на ограниченном пространстве, это позволяет в зоне их работы обеспечить функционирование высокоскоростной системы передачи данных, достаточной для передачи многоканального потокового видео (каждый объект оснащается 5-7 видекамерами в зависимости от его типа).

Высокоскоростная система передачи данных должна обеспечивать дистанционное управление: экскаватором (все технологические операции) в зоне

погрузки; погрузчиком (все технологические операции) в зоне погрузки; бульдозером (все технологические операции) в зоне разгрузки; роботизированным автосамосвалом (управление в нестандартных ситуациях, при необходимости - постановка под погрузку, начало движения после погрузки, разгрузка и начало движения после разгрузки).

Кроме этого, высокоскоростная система передачи данных развертывается в особо опасных зонах – например, на железнодорожных переездах.

В остальных случаях достаточно менее скоростной системы передачи данных, например, на маршруте движения автономных карьерных автосамосвалов.

Серверное программное обеспечение центра управления должно обеспечивать выполнение следующих функций:

- оптимизация и автоматическая диспетчеризация;
- корректировка цифровой модели карьера (создание и актуализация графа дорог);
- оперативное планирование работы роботизированных систем грузоперевозок;
- управление и оптимизация заправок;
- управление техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) – расчет необходимого времени и отправка техники в место продвижения ТОиР;
- создание маршрутов и атрибутов движения;
- автоматическая маршрутизация и управление движением техники;
- дистанционное управление и автономное управление.

Главное назначение серверного программного обеспечения - организация цикла движения роботизированных карьерных автосамосвалов по маршруту (рисунок 4.3), который включает следующие стадии:

- готовность автосамосвала к автономному движению из места технического обслуживания или заправки;
- расчет оптимального маршрута под загрузку;
- подготовка маршрута с атрибутами;
- контроль и управление движением;
- прибытие к экскаватору;
- получение сигнала об окончании загрузки;
- расчет оптимального места разгрузки;
- подготовка маршрута с атрибутами;

- контроль и управление движением;
- расчет нового маршрута или отправка на ТОиР или заправку и так в рамках рассчитанного оперативного плана работы роботизированной системы грузоперевозок.

При движении роботизированного автосамосвала по маршруту каждое целевое состояние связано с точкой траектории и содержит поля о координатах, скорости, направлении движения и угле поворота колес.

Сама траектория движения задается навигационными данными, полученными:

- при движении автосамосвала под управлением опытного водителя;
- маркшейдерские данные;
- при редактировании целевых состояний с целью оптимизации движения.

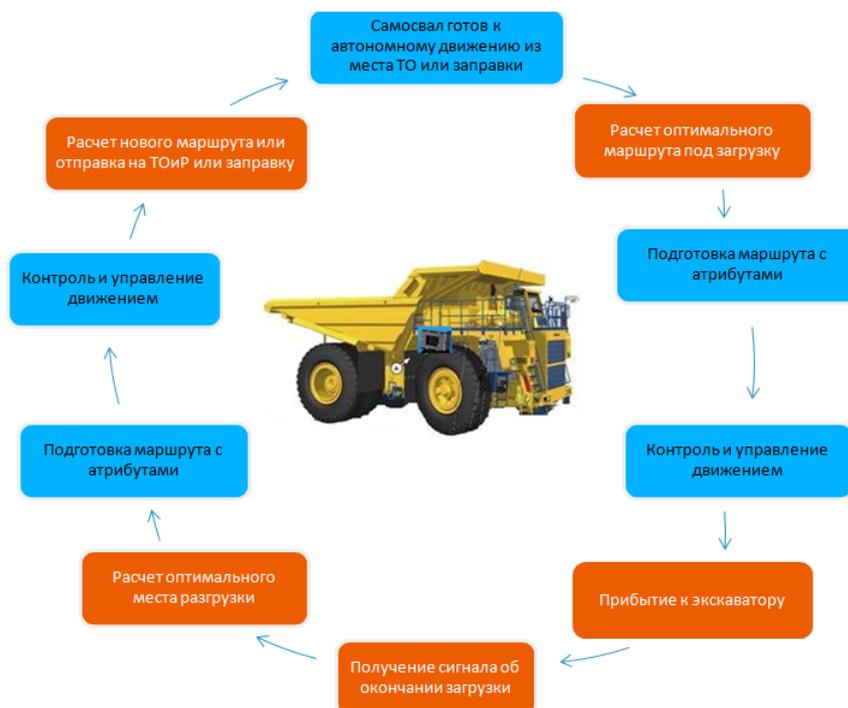


Рисунок 4.3 –Цикл движения роботизированного карьерного автосамосвала

При постановке автономного автосамосвала под погрузку (рисунок 4.4) должны быть обеспечены: отсутствие коллизий между автосамосвалами на погрузке за счет выделения зоны погрузки и зоны ожидания погрузки; точное позиционирование автосамосвалов под погрузку.

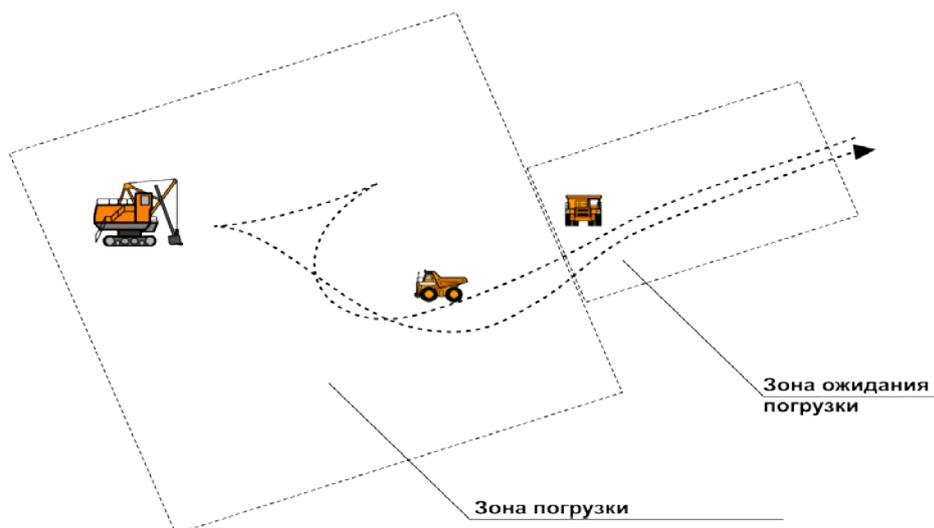


Рисунок 4.4 – Постановка автономного автосамосвала под погрузку

Пункт разгрузки карьерных автосамосвалов (рисунок 4.5) должен быть разделен на две зоны: зону разгрузки; зону работы бульдозера.

В целях безопасности, кроме того, специально должна быть выделена зона ожидания разгрузки роботизированного карьерного автосамосвала.

Для обеспечения разъезда встречных автосамосвалов на маршруте (рисунок 4.6) должен быть обеспечен: контроль со стороны сервера относительного положения каждого из роботизированных автосамосвалов и векторы их движения; перевод обоих самосвалов в специальный режим работы; уменьшение скорости движения; последовательное прохождение каждым автосамосвалом встречных автосамосвалов с помощью системы предотвращения столкновений по зонам: спереди – слева; слева; сзади - слева; в случае нештатных ситуаций используется помощь дистанционного водителя.

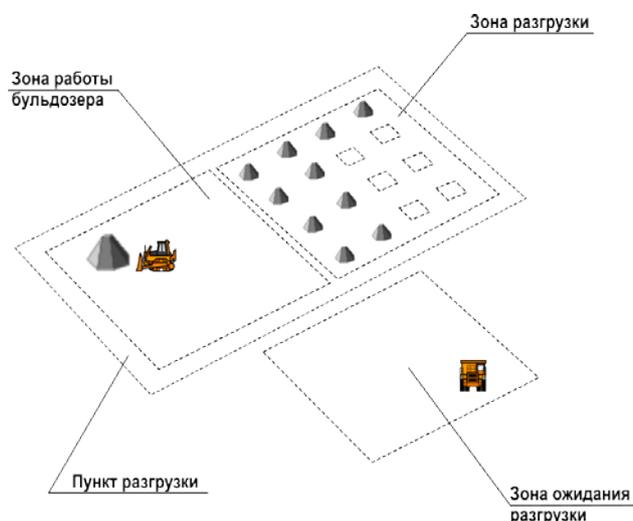


Рисунок 4.5 – Зоны пункта разгрузки

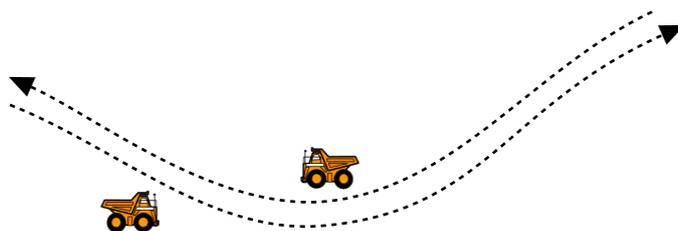


Рисунок 4.6 – Обеспечение разъезда встречных автономных автосамосвалов

При движении попутных автосамосвалов (рисунок 4.7) сервер должен постоянно отслеживать взаимное расположение попутных автономных автосамосвалов и снижать скорость (через команды-рекомендации) автосамосвала, едущего сзади, если скорость едущего впереди автосамосвала по каким-то причинам снижается ниже установленной.

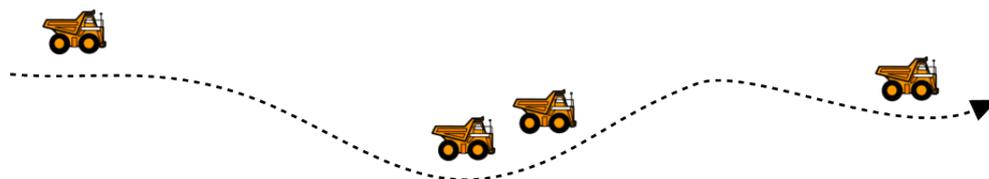


Рисунок 4.7 – Обеспечение движения попутных автономных автосамосвалов

При возникновении проблем (например, уменьшении расстояния между автосамосвалами меньше минимально допустимого или отклонение от траектории движения) автосамосвал принудительно останавливается до команды диспетчера или дистанционного водителя.

Перед началом эксплуатации роботизированной системы грузоперевозок должно быть проведено испытание работы системы в дистанционном и автономном режимах управления на специально организованной для этих целей площадке.

При тестировании режима дистанционного управления и аварийной остановки автосамосвала проверяется: движение по простому замкнутому контуру; движение, имитирующее цикл работы автосамосвала.

При тестировании работы системы предотвращения столкновений и системы аварийной остановки при движении автосамосвала в автономном

режиме проверяется: остановка при обнаружении препятствий; остановка с пульта.

Испытания проводятся сначала при наличии водителя в кабине, затем водитель контролирует работу самосвала из Центра управления.

Во время испытаний в автономном режиме имитируется производственный цикл карьерного автосамосвала: погрузка (условная); выезд на маршрут; движение по маршруту (условно груженым); постановка на разгрузку; разгрузка (условная); выезд на маршрут; движение по маршруту (условно порожним); постановка на погрузку. При этом испытания проводятся при дистанционном контроле водителя из центра управления.

Важным этапом испытаний карьерного автосамосвала в автономном режиме является проверка надежности по «наработке на отказ» в режиме имитации производственного цикла автосамосвала в течение суток: погрузка (условная); выезд на маршрут; движение по маршруту (условно груженым); постановка на разгрузку; разгрузка (условная); выезд на маршрут; движение по маршруту (условно порожним); постановка на погрузку.

Завершающим этапом испытаний роботизированной технологии является проверка работы карьерных автосамосвалов в автономном режиме на реальном маршруте движения совместно с другими автосамосвалами под контролем водителя из кабины и/или из центра управления.

Однако решение об использовании роботизированных систем грузоперевозок и ввод системы в промышленную эксплуатацию зачастую является недостаточным фактором для достижения необходимого результата. Важную роль в обеспечении эффективного использования и функционирования роботизированной системы грузоперевозок играют вопросы организации процессов работы персонала с системой, получения достоверной информации и степень ее применения для решения задач управления производством.

В связи с этим становятся актуальными проведение периодической оценки и формирование экспертного заключения об эффективности использования систем и рекомендаций по их применению и функционированию. Современные средства обработки, хранения и передачи данных позволяют осуществлять технический аудит роботизированной системы грузоперевозок дистанционно, что существенно влияет на оперативность предоставления заключения.

Периодическая оценка функционирования и использования системы или технический аудит [37], проводимый на промышленных предприятиях,

позволяет оценить: эффективность использования роботизированной системы грузоперевозок; достижение целей внедрения; статус внедрения; оперативность принятия решений; динамику коэффициентов полезной эффективности (КПЭ), характеризующих работу отдельных подразделений предприятия и самой роботизированной системы грузоперевозок.

Проведение технического аудита роботизированной системы грузоперевозок, в составе АСУ ГТК, основано на анализе показателей, хранимых в базе данных АСУ ГТК. Для проведения технического аудита на горных предприятиях выбрана методология, включающая обследование объекта по трем составляющим: функционирование роботизированной системы, где оцениваются все диагностические параметры работы роботизированной техники, выход за критические значения показателей эксплуатации → использование роботизированной системы грузоперевозок, куда включается корректные заданные оперативные планы работы и оценивается распределение автосамосвалов и их эксплуатационные коэффициенты (КИО, грузооборот, плечи итд) → операционные коэффициенты полезной эффективности КПЭ (оцениваются КИО, КТГ, другие коэффициенты, связанные с эффективностью работы роботизированной системы грузоперевозок). Данные логические группы характеризуют степень внедрения роботизированной системы грузоперевозок и ее работоспособность, степень ее использования, а также в рамках операционных КПЭ позволяют оценить эффект от внедрения. Результаты технического аудита позволяют систематизировать и уточнить задачи, решаемые на конкретном предприятии с помощью АСУ ГТК «Карьер», оценить характер взаимодействия различных подразделений предприятия, выявить существующие проблемы. В ряде случаев весьма затруднительно оценить в материальном выражении КПЭ и экономический эффект от использования АСУ ГТК и эффект от роботизированной системы грузоперевозок, в связи с отсутствием сравнимого примера.

В связи с этим как показано в параграфе для создания роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии необходимо провести ряд организационных мероприятий по созданию технологической инфраструктуры, включающей системы широкополосной связи, системы высокоточной навигации, организовать специальные участки пересменки и ТО, а также ожидания под погрузку и разгрузку, обеспечить разнесенные маршруты с участками горных работ, где работает техника, управляемая водителями в

ручном режиме, систематически оценивать функционирование и КРІ роботизированной системы грузоперевозок. Основными ограничительными требованиями к созданию и применению роботизированной горной техники, также как и при ведении горных работ, являются правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых, которые пока детально не регламентируют общих требований к инфраструктуре для создания роботизированных систем грузоперевозок на горных предприятиях.

4.2. Обеспечение безопасности при создании роботизированной системы грузоперевозок на горных предприятиях

В настоящее время основным регламентирующим документом, устанавливающим требования, направленные на обеспечение промышленной безопасности, предупреждение аварий, случаев производственного травматизма на объектах ведения горных работ и переработки негорючих, твердых полезных ископаемых являются Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» [72]. Новая версия правил издана в 2014 году, допускает применение безлюдных технологий для ведения горных работ.

Безлюдная технология - технологические процессы, осуществляемые автоматизированными устройствами (автоматические линии, промышленные роботы, манипуляторы и т. п.), которые освобождают человека от выполнения производственных операций

Правила безопасности при ведении горных работ определяют, что проверка новых и усовершенствование существующих систем разработки и их параметров разработки (в том числе безлюдной технологии), опытно-промышленная разработка месторождений полезных ископаемых или их части, должна осуществляться на основании проектной документации.

При применении безлюдной технологии, зоны (границы) ведения горных работ должны быть обозначены предупредительными знаками и оснащены автоматизированными системами контроля доступа и связи. Контроль за применением безлюдной технологии погрузки и движения карьерного автотранспорта должен осуществляться оператором, находящимся на безопасном расстоянии, определяемом проектом. В вышеназванном документе определены основные требования безопасности при выполнении

технологических операций обычным карьерным автотранспортом и выемочно-погрузочной техникой, использование технологий безлюдной добычи только включено в данные правила как определение, но ее работа не регламентирована. Несмотря на это руководству горной компании необходимо применять меры, направляемые на обеспечение промышленной безопасности при внедрении, использовании и обслуживании роботизированной системы грузоперевозок, так как число опасных событий увеличится при появлении роботизированной техники в карьере. Для этого необходимо использовать систему управления промышленной безопасностью, единую методику расчета рисков и классификации опасностей, учета информации о состоянии безопасности для роботизированной системы грузоперевозок. Задача оптимизации факторов, которые влияют на безопасное ведение горных работ, должна решаться комплексно, опираясь на общие цели производства по достижению максимальной экономической эффективности при необходимом уровне промышленной безопасности. Задача определения и соблюдения необходимого уровня безопасности и оценки рисков затруднительна и фактически не реализуема без применения автоматизированных средств и специализированного программного обеспечения. Данный расчет может проводиться в специализированной системе управления промышленной безопасностью. [65]

Несмотря на наличие бортовых систем обеспечивающих безопасность движения техники и аналогичных систем на диспетчерском пункте (пункте управления), которые реализуются на этапе проектирования, специфика работы дистанционно управляемых и автономных карьерных автосамосвалов требует детальной проработки вопросов взаимодействия с погрузочной техникой и обеспечения безопасности на всех этапах ведения горных работ. Рассмотрим основные технологические требования, которые должны соблюдаться для обеспечения безопасности роботизированной технологии грузоперевозок и обслуживающего персонала.

Маршрут автономного движения карьерного автосамосвала является его траекторией, которая дополняется целевыми состояниями автосамосвала, включающие требуемую скорость, координаты, направление движения и угол поворота колес. Целевая траектория может задаваться диспетчером на карте, но более надежным и простым способом является формирование траектории и целевых состояний автосамосвала после проезда по маршруту опытного

водителя. Кроме того, полученные данные можно редактировать, устраняя случайные неточности движения по траектории.

Маршрут движения роботизированного автосамосвала должен минимально пересекаться с другими путями сообщения, поскольку каждое такое пересечение требует специального решения, обеспечивающего достаточный уровень безопасности.

Одна из важных задач, которую нужно решить, чтобы обеспечить безопасное движение роботизированного карьерного транспорта - это постановка автосамосвалов под погрузку. Траектории движения автосамосвалов в непосредственной близости от экскаватора могут пересекаться. Чтобы гарантированно избежать столкновений, перед заездом каждого автосамосвала на площадку перед экскаватором в специально обозначенном на карте месте перед этой площадкой производится проверка. Если на площадке перед экскаватором других автосамосвалов нет, то специальный программный модуль разрешает данному автосамосвалу постановку под погрузку. Если же площадка перед экскаватором занята, то автосамосвал ждет, пока она освободится.

Похожая ситуация происходит и с разгрузкой автосамосвалов. Также есть специальная область для проверки доступности площадки разгрузки и ожидания своей очереди. Но дополнительной сложностью оказывается обеспечение отсутствия коллизий с бульдозером. Для обеспечения безопасности площадка разгрузки делится на две зоны. Одна из них открыта для разгрузки, вторая - закрыта, и в ней работает бульдозер. Потом зоны меняются. Таким образом, роботизированный автосамосвал и бульдозер, управляемый человеком, оказываются территориально разнесены.

При погрузке горной массы в автосамосвалы экскаваторами должны выполняться следующие технологические требования безопасности:

- ожидающий погрузки автосамосвал должен находиться за пределами радиуса опасной зоны экскаватора и становиться под погрузку только после разрешающего сигнала машиниста экскаватора;
- находящийся под погрузкой автосамосвал должен быть в пределах видимости машиниста экскаватора;
- находящийся под погрузкой автосамосвал должен быть заторможен;
- погрузка на платформу самосвала должна производиться только сзади или сбоку, перенос экскаваторного ковша над кабиной автомобиля запрещается;

– высота падения груза должна быть минимально возможной и во всех случаях не превышать 3 м;

– загруженный автосамосвал должен следовать к пункту разгрузки только после разрешающего сигнала машиниста экскаватора.

Запрещается односторонняя или сверхгабаритная загрузка, а также превышающая установленную грузоподъемность автосамосвала.

Если говорить о движении роботизированного автосамосвалов по маршруту, то необходимо обеспечить безопасный разъезд встречных автосамосвалов. На первый взгляд, дополнительных действий совершать не надо, так как одно из требований к дороге - возможность разъезда встречных автосамосвалов. Тем не менее, могут возникнуть небольшие случайные отклонения от траектории, связанные с накоплением ошибки навигационных данных, которые потенциально могут привести к столкновению. С другой стороны, разъезд встречных автосамосвалов это штатная ситуация, и в ней нельзя просто останавливать оба автосамосвала (а обычно появление препятствия в зоне видимости предусматривает остановку). Поэтому вся ситуация с самого начала находится под контролем сервера, которые рассылает свои указания и корректировки автосамосвалам. Они переводятся в специальный режим работы, и скорость движения уменьшается. Каждый автосамосвал оснащенный системой предотвращения столкновений контролирует правильность прохождения встречного автосамосвала по зонам (впереди-слева, слева, позади-слева). В случае внештатных ситуаций используется дистанционная помощь водителя.

Похожим образом решается задача движения попутных автосамосвалов. Сервер также постоянно отслеживает их взаимное расположение и снижает скорость (через команды-рекомендации) автосамосвала, едущего сзади, если скорость едущего впереди самосвала по каким-то причинам уменьшается ниже установленной. При возникновении проблем (например, уменьшении расстояния между автосамосвалами меньше минимально допустимого) автосамосвал принудительно останавливается до команды диспетчера или дистанционного водителя.

Безусловно, непростой задачей является обеспечение такого процесса погрузки, при котором люди в опасной зоне не находятся. Если погрузка идет не с помощью погрузочного бункера и не дистанционно-управляемыми

погрузочными средствами (экскаватор, погрузчик), то в таком случае необходимо детально прорабатывать техническое решение.

Для автономной техники, кроме площадки, предназначенной для ожидания ее под погрузку, должна быть предусмотрена площадка для ожидания технического обслуживания и ремонта. Для проведения технического обслуживания и ремонта автономная техника в режиме ручного управления (водителем) перемещается в зону ремонта и обслуживания на предприятии. Размеры и расположение площадки для ожидания уточняются в процессе разработки системы.

Принципиальным фактором является обеспечение безопасности персонала на участке работы роботизированной системы грузоперевозок. Помимо алгоритмических решений, использования специального оборудования нельзя пренебрегать и простыми мерами. Разумно обеспечить ограждения, автоматизированные шлагбаумы. Весь персонал и обычные (не роботизированные) мобильные объекты следует обеспечить специальными метками и устройствами, деактивирующими роботов. Если так складывается ситуация, что необходимо разрешить движение по маршруту роботизированных транспортных средств (автосамосвалов) и не роботизированных (например, грейдеров, выравнивающих дорогу), то следует использовать принцип сегментирования, как на железной дороге. Маршрут разбивается на части (сегменты). Если в некотором сегменте находится управляемое человеком транспортное средство, то в этот сегмент, предшествующий ему и следующий за ним роботизированный автосамосвал заехать не может.

Технический персонал должен иметь портативные радиостанции со встроенной поддержкой спутниковой навигации для связи с диспетчером, а также средства дистанционного аварийного останова. Таким образом, диспетчер может постоянно отслеживать месторасположение технического персонала, координировать его работу и обеспечивать контроль безопасности его работы.

Основные элементы и параметры геотехнологии добычи полезных ископаемых открытым способом, которые могут быть изменены при использовании роботизированной системы грузоперевозок: угол откоса бортов карьеров, ширина технологической дороги и всех основных параметров внутриплощадочных автодорог, требования к уклону дорог, скорость карьерных автосамосвалов, требования к местам погрузки-разгрузки карьерных автосамосвалов, требования к переездам или сопряжениям участков

роботизированных систем грузоперевозок с работой техники под управлением водителей и операторов, темп углубки. В связи с тем, что требования к безопасности при использовании роботизированной системы грузоперевозок могут быть пересмотрены, все параметры СНиПа автомобильного транспорта к внутриплощадочным автодорогам могут быть изменены в сторону уменьшения размеров. В предельном случае ширина технологической дороги может определяться только шириной разъезда роботизированных автосамосвалов. Аналогично такие параметры как скорость роботизированного автосамосвала, угол уклона технологической дороги, а также угол откоса борта карьеров могут быть увеличены.

Определим функции, которые описывают изменения параметров геотехнологии при ведении открытых горных работ, зависящие от технических и технологических характеристик роботизированной системы грузоперевозок.

- $h_r = H(L_c, \text{nav}) < h_t$;
- $\alpha_r = A(W_c, F_{tr}, PV, k) \geq \alpha_t$;
- $V_r = V(L/t_{dp}, t_{reak}, k) \geq V_t$;
- $\beta_r = B(k_{pr}) > \beta_t$.

h_r - ширина технологической дороги, которая зависит от функции H , от значений L_c – габаритная ширина роботизированного автосамосвала, точность навигационных данных позиционирования в связи с навигационной ошибкой $\text{nav} < 1\text{ м}$. h_t – ширина технологической дороги при традиционном использовании автомобильного транспорта. α_r – уклон технологической дороги при движении роботизированного автосамосвала, зависящий от силы сцепления колес с поверхностью дороги F_{tr} , а также тяговыми параметрами двигателя автосамосвала W_c и расчетными показателями реакции системы систем предотвращения столкновений PV , торможения и позиционирования для данных горнотехнических и климатических условий. α_t – уклон технологической дороги при традиционном использовании автомобильного транспорта. V_r – средняя скорость движения роботизированных автосамосвалов на маршруте от пункта погрузки до пункта разгрузки может быть увеличена за счет нивелирования времени реакции водителей автосамосвала и манёвров, выбора оптимальной траектории движения по маршруту. На данный показатель влияет время переключений в режим дистанционного управления на маршруте (t_{dp}), где теряется оперативность по сравнению с наличием водителя в кабине, а также

коэффициент качества технологических дорог k . t_{reak} - расчетное время реакции водителя для участка маршрута. V_t – средняя скорость движения автосамосвала, управляемого водителем на маршруте от пункта погрузки до пункта разгрузки. $k_{рг}$ - коэффициент запаса устойчивости борта при проектировании и отработке карьера при использовании роботизированной системы может быть уменьшен, в связи с чем угол откоса борта β_t при использовании роботизированных автосамосвалов увеличен [88], что ведет к существенному сокращению затрат на транспортировку горной массы и уменьшению коэффициента вскрыши при разработке месторождений. β_t – угол откоса борта карьера при традиционном методе отработки месторождения. В связи с этим появляется необходимость учета технических параметров роботизированных систем грузоперевозок (скорость передачи данных, точность систем навигации и позиционирования роботизированного автосамосвала, распознавания препятствий и проч.) при выборе параметров открытой геотехнологии, наряду с технологическими факторами и горно-геологическими условиями. Экономический эффект от изменения параметров геотехнологии открытой разработки месторождений при использовании роботизированных систем грузоперевозок может быть весьма значительным и требуются дальнейшие детальные исследования и обоснования норм проектирования открытых горных работ в случае применения роботизированной карьерной техники. Несмотря на это новые правила безопасности ведения горных работ позволяют запускать роботизированные участки горных работ, инфраструктура которых должны быть отдельно определена проектом.

4.3. Технологические требования и методика оценки качества технологических дорог для роботизированных систем грузоперевозок

Для обеспечения функционирования роботизированной транспортной системы грузоперевозок и высокой производительности карьерных автосамосвалов, сохранения срока службы их основных узлов и агрегатов, снижения расхода топлива, и увеличения сроков эксплуатации шин должно быть соответствующее качество технологических дорог. Важность оценки качества технологических дорог для использования роботизированных транспортных технологий грузоперевозок заключается в обеспечении безопасности движения техники по маршруту [64]. В отличие от традиционного управления карьерным автосамосвалом, где водитель может при наличии видимого дефекта объехать

яму или препятствие, в крайнем случае остановить автосамосвал до устранения проблемы, во избежание нагрузок на автосамосвал и возможность повреждения шин, других узлов горной техники, роботизированные транспортные технологии очень чувствительны к качеству дорожного полотна, уклонам, ямам, резким поворотам и другим несоответствиям показателей качества технологических дорог от нормативных значений в связи с движением по заранее спланированной и переданной на борт роботизированного автосамосвала траектории движения, изменение вектора которой может влиять на безопасность транспортного средства.

Для этих целей в связи с ограничениями присутствия персонала на участках работы роботизированных автосамосвалов, контроль качества технологических дорог должен проводиться автоматизировано с помощью программного обеспечения, которое позволит осуществлять автоматически количественную оценку параметров, а также отображать на цифровой карте карьера информацию о местоположении проблемных участков дорожного полотна и оценивать типы «плохих» дорог. Программное обеспечение контроля качества технологических дорог (ККД), являющееся модулем АСУ ГТК должно обеспечивать привязку техники, передающих свои параметры и координаты в режиме реального времени, к цифровой карте карьера с координатами местности и визуализацией результатов. Модуль ККД должен определять следующие типы некачественного дорожного покрытия: яма, в которую попало колесо, или камень; аварийное торможение или наезд на препятствие передней осью колес; высокая скорость на неправильно профилированных участках дорог; тип дороги – «стиральная доска» — частые перепады вверх-вниз; маленький радиус поворота; контроль превышения уклона. Данные с модуля ККД (давление в передних и задних подвесках, скорость движения автосамосвала, выбранная передача, опционально информация от лазерного сканера и др.) обрабатывается с помощью компьютерной программы для определения качества технологических дорог.

В основе метода идентификация конкретного состояния технологических дорог лежит сравнение величин давления в каждой подвеске с давлениями в остальных подвесках, причем давление в подвесках измеряется установленными в них датчиками. Наезд на камень или попадание автосамосвала в яму идентифицируется с помощью датчиков давления в подвесках, расположенных по его диагонали, при этом неравенство давлений в этих подвесках

характеризует величины диагональных нагрузок, скручивающих раму автосамосвала, и однозначно свидетельствует о типе некачественного состояния технологической дороги («Яма»). Причем эти диагональные продольные динамические нагрузки передаются на все основные узлы и агрегаты, снижая срок их службы.

В свою очередь при аварийном торможении автосамосвала, проезда ям или наезда на препятствия, размеры которых сопоставимы по размерам с шириной автосамосвала, возникают продольные динамические нагрузки, распространяющиеся от передней оси самосвала к задней. Тогда модуль ККД зафиксирует с помощью датчиков давления в подвесках неравенство между суммарным давлением в передних подвесках по отношению к задним («Стиральная доска»).

Неравномерная загрузка автосамосвала или высокая скорость его движения на неправильно профилированных виражах приводят к боковой раскачке рамы автосамосвала, что выражается в виде разности суммарных давлений между левыми и правыми подвесками («Уклон»).

Анализ значений датчиков давления для случаев наезда на камень или яму, на большое препятствие или нерасчетный уклон дороги совместно с положением педали газа для изменения оборотов двигателя автосамосвала и выбранной скорости движения, соответствующих дорожным условиям позволяют определить качество дорожного полотна с привязкой к конкретному участку.

При обнаружении «некачественной дороги» бортовой компьютер роботизированного автосамосвала по каналам связи передает данные на сервер диспетчерского центра. Координаты точки, в которой был зафиксирован участок с неудовлетворяющим дорожным покрытием или неправильным эксплуатированием автосамосвала в процессе движения, записываются в базу данных. Соответствующая информация отображается и на цифровой карте карьера на мониторе у диспетчера. Для обеспечения высокой точности локализации дефектов дорожного полотна в автоматизированной системе на уровне базы данных происходит анализ первичных данных от нескольких автосамосвалов, работающих на одном маршруте и их усреднение. Усредненная информация о некачественной дороге графически отображается на цифровой карте карьера.

На рисунке 4.8 показан пример отображения некачественной дороги на цифровой карте карьера (цветной пунктир) на мониторе диспетчера.

Для модуля ККД могут быть определены следующие режимы функционирования: режим анализа и контроля качества дорог – нормальный режим; режим анализа качества технологических дорог без передачи информации на сервер системы (автономный режим); режим, в котором модуль отключен.

Каналы передачи данных на основе цифровой широкополосной системы связи роботизированной линии грузоперевозок обеспечивают достаточную пропускную способность для передачи объема информации, которая возрастает из-за работы модуля ККД. Наличие трех режимов функционирования модуля позволяет регулировать нагрузку беспроводного канала передачи данных при ухудшении качества связи и других неблагоприятных факторах.

Помимо графического отображения информации о качестве дорог система управления должна формировать различные аналитические отчеты, среди которых можно выделить:

1. Отчет по маршрутам, в котором информация группируется по типам нарушений качества технологических дорог, числовую и/или категориальную оценку качества маршрутов и др.

2. Сравнение расстояния дороги с нарушениями и без, что характеризует долю качественных технологических дорог.

3. Отчет по потенциальному выигрышу при устранении нарушений на технологических дорогах. Предоставляется отчет о возможном выигрыше во времени, потраченном на данном маршруте, выигрыш времени за смену, а также анализ потенциально не перевезенной породы

4. Линейная диаграмма по маршруту с указанием проблемных участков.

Модуль ККД, учитывая неровности дороги и их долю на маршруте, автоматически просчитывает алгоритм динамики движения по маршруту автономного карьерного автосамосвала и вырабатывает управляющие команды, которые позволяют сократить временные задержки, возникшие из-за движения по неровной дороге путем соответствующего увеличения скорости движения автосамосвала с учетом резерва мощности двигателя. Использование модуля ККД позволяет не только эффективно решать данную задачу, но и существенно повысить эффективность работы роботизированной технологии грузоперевозок в целом. Одним из важнейших показателей качества дорог для роботизированной карьерной техники являются превышения уклонов, а также

наличие ям или участков с камнями/негабаритами на которые может наехать роботизированный автосамосвал.

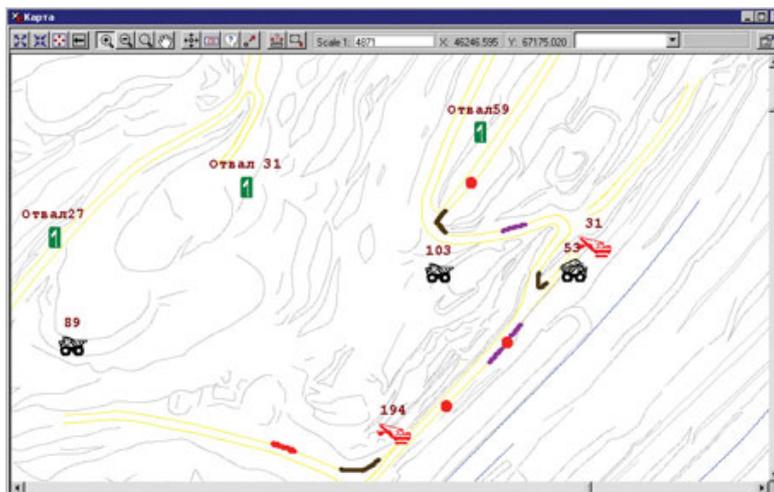
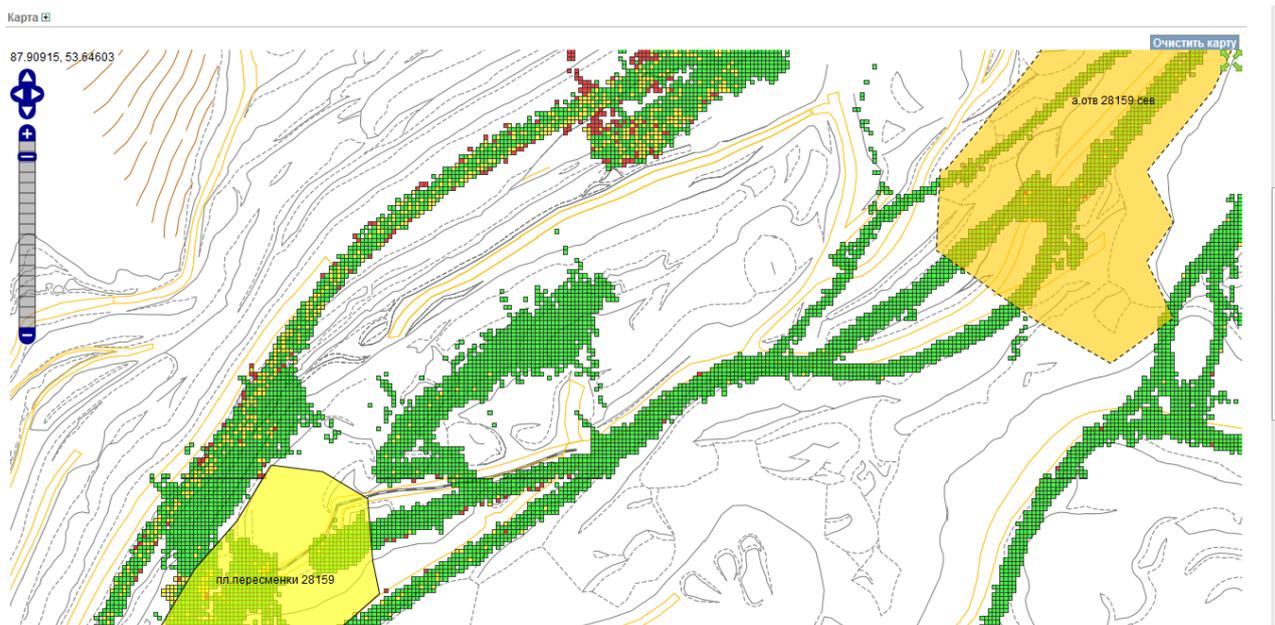


Рисунок 4.8 – Отображение некачественной дороги типа «Стиральная доска» на цифровой карте карьера.

Методика автоматизированной оценки качества технологической дороги проверена на одном из карьеров Кузбасса. Площадь карьера покрывается сеткой из ячеек 10x10 м, система отслеживает пути перемещения автосамосвалов и их уклон. У ячеек, через которые проезжают самосвалы, накапливаются показатели инклинометров и датчиков давления подвески (рисунок 4.9). Как только по ячейке набирается достаточная статистика, она отображается в системе цветом, характеризующим её уклон. Статистика по ячейкам пересчитывается раз в неделю, на карту всегда выводится последнее накопленное значение. При резком кратковременном повышении давления, что соответствует наезду на препятствие или попадание колеса в яму, в подвеске автосамосвала, контроллер диагностирует в этом месте «неровность дороги». Определенные в этот интервал неровности технологической дороги могут быть отображены оператору или диспетчеру поверх карты уклонов полупрозрачными квадратами. Диспетчер или оператор роботизированной техники также может просмотреть историю изменения состояния этой ячейки, направить грейдер или другую технику для устранения проблемы с данным участком дороги. Ниже приведены ряд графиков и интерфейсов для автоматизированного анализа контроля качества технологических дорог с помощью роботизированных автосамосвалов.



Примечание – Цветовое обозначение величин уклонов на маршруте движения роботизированных автосамосвалов:

зеленый – уклон от 0 до 5 град.;

жёлтый – уклон от 5 до 10 град.;

красный – уклон больше 10 град.

Рисунок 4.9 – Отображение уклонов на маршруте движения роботизированных автосамосвалов

График на странице состояния ячейки (рисунок 4.10) показывает процентное отношение количества сообщений с проблемами к общему количеству сообщений по данной ячейке за выбранный интервал.

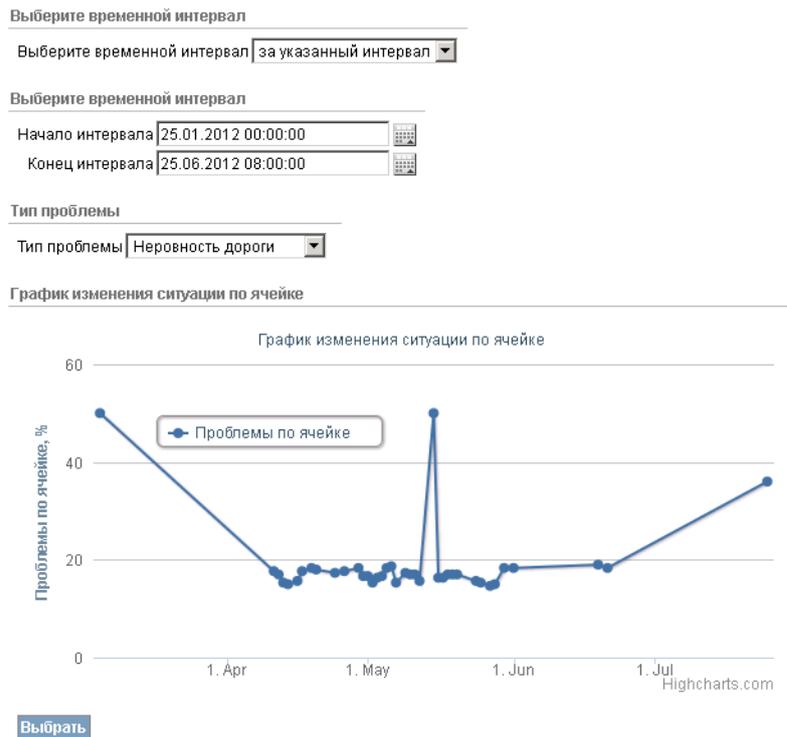


Рисунок 4.10 – График изменения ситуации по ячейкам

В отчете отображается текущее количество зафиксированных проблем (рисунок 4.11), на графике показывается изменение количества проблем с течением времени (рисунок 4.12).

Выберите временной интервал

Выберите временной интервал за указанную смену ▼

Выберите дату и номер смены

Дата смены 15.05.2012

Номер смены 1 ▼

Параметры

Тип проблемы Все ▼

Уровень проблемы Все ▼

Проблемы на дорогах

Количество проблем	Суммарная временная задержка
47	1495
1 - 1	

Выбрать

Рисунок 4.11 – Отчет «Проблемы на дорогах»

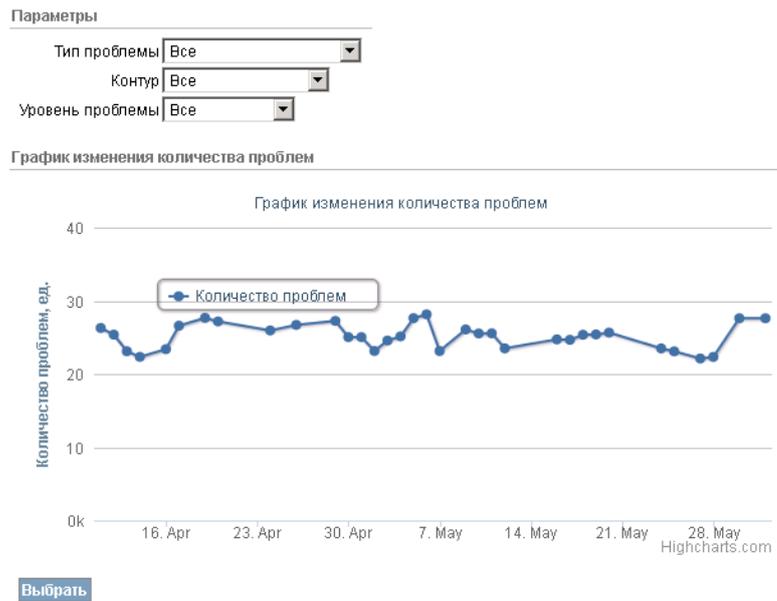


Рисунок 4.12 – График изменения количества проблем

На графике (рисунок 4.13) отображаются показания продольного и поперечного инклинометров (минимальное, среднее, максимальное) за выбранный период.

В связи с тем, что при работе роботизированной системы грузоперевозок необходимо обеспечивать отсутствие линейного персонала в зоне работы техники, а также нормативные значения уклонов и состояния дорог для корректной работы алгоритмов управления движением роботизированного автотранспорта по маршруту, автоматизированный контроль за состоянием дорог становится одной из важнейших задач технологии грузоперевозок. Данная методика оценки качества дорог по показаниям инклинометров является довольно бюджетной и может быть использована для оценки качества технологических дорог на автосамосвалах, управляемых в ручном режиме.



Рисунок 4.13 – График показания инклинометров

Более перспективный и точный анализ качества технологических дорог с использованием роботизированных систем грузоперевозок, оснащенных лазерным сканером может выдавать значения диспетчеру не только о наличии какого-либо нарушения дорожного полотна, но и характеризовать причину и форм-фактор и свойства объекта, влияющего на качество технологической дороги. Существенной проблемой данного метода контроля является существенные затраты на оборудование лазерного сканера и большие требования к каналу беспроводной связи между автосамосвалом и диспетчерским центром, что является существенным ограничением для использования данной методики.

4.4. Модель оптимизация работы и автоматической диспетчеризация роботизированных автосамосвалов

Роботизированные карьерные автосамосвалы является одним из основных звеньев технологического процесса добычи полезных ископаемых с применением роботизированных систем грузоперевозок. Функционирование карьерного автотранспорта в значительной мере определяет эффективность как смежных с ним звеньев, так и всего процесса открытой добычи в целом.

Программный комплекс управления роботизированным роботизированной системой грузоперевозок должен обеспечивать как оптимизацию многокритериального (минимизация нетехнологических простоев автотранспорта, подача на склад определенного качества полезного

ископаемого, максимизация забоя ит.д.) оперативного управления технологическими процессами горно-транспортных работ для «подсказки» диспетчеру оптимального варианта в режиме реального времени, так и автоматическую диспетчеризацию с оптимизацией работы автономных автосамосвалов во взаимодействии с выемочно-погрузочным оборудованием. [61,63]

Исходными данными модуля автоматической диспетчеризации и оптимизации является информация о каждом роботизированном автосамосвале, в которую входят данные о его положении и, если он загружен, о массе и виде перевозимого груза (уголь, порода и т.д.), пункте разгрузки – положение и вид принимаемого груза, экскаваторе – положение и вид груза, а также об актуальном графе дорог, где каждый участок дороги соответствует ребру и характеризуется длиной, шириной, высотой подъёма и качеством.

Модуль должен обеспечивать оптимальное распределение роботизированных карьерных автосамосвалов по маршрутам в соответствии со следующим алгоритмом. Пусть имеются автосамосвалы C_1, C_2, \dots, C_m . Для оптимального распределения автосамосвалов производится:

1. Расчет возможных маршрутов движения для первого автосамосвала $M_{i1} \dots M_{ik}$.

2. Аналогичный расчёт возможных маршрутов движения для второго автосамосвала $M_{i1} \dots M_{iL}$ с учётом того, что первый автосамосвал движется по маршруту M_{i1} , затем - M_{i2} и т.д. Таким образом, после второго этапа расчета получаем все возможные комбинации распределений первого и второго автосамосвалов по маршрутам.

Продолжая процесс построения дерева до этапа m , получим всевозможные распределения автосамосвалов по маршрутам, вид которых показан на рисунке 4.14.

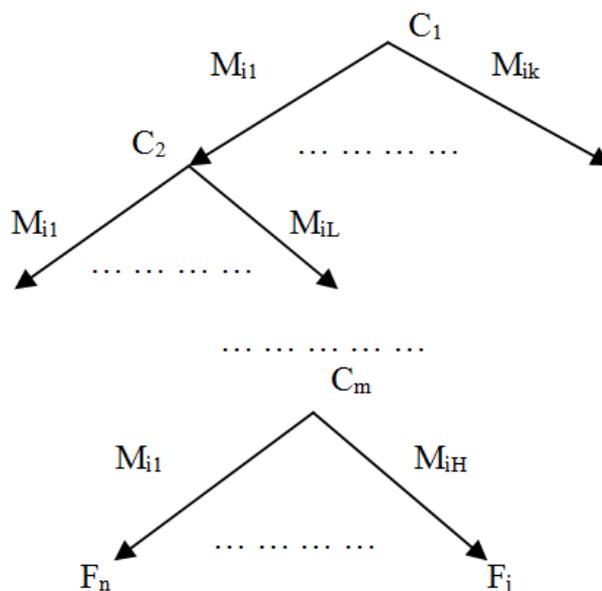


Рисунок 4.14 – Вид распределения роботизированных автосамосвалов по маршрутам

На последнем этапе для каждой вершины дерева вычисляем оценочную функцию, которая имеет вид:

$$F = k_1 * M + k_2 * L + k_3 * H + k_4 * KR + \sum k_i * F_i,$$

где: M – перевезённая всеми автосамосвалами масса (т);

L – пройденное расстояние, (м);

H – высота (м);

KR – суммарный показатель качества использованных дорог;

k_1, k_2, k_3, k_4 – данные коэффициенты;

k_i, F_i – прочие коэффициенты и показатели.

По итогам расчета для каждой вершины дерева на последнем этапе получаем набор значений оценочной функции F_1, F_2, \dots и выбираем ту ветвь, на которой оценочная функция получает наибольшее значение.

Перерасчёт оптимальных маршрутов движения роботизированных автосамосвалов в алгоритме производится также в случае изменения внешних факторов, например, при перекрытии участка дороги, поломки одного из автосамосвалов, изменении оптимизационных коэффициентов и др. Алгоритм запускается в начале смены и причиной его перезапуска может быть один из вышеперечисленных факторов. В качестве примера произведем расчет оптимальных маршрутов движения автотранспорта для карьера, на котором работает три карьерных автосамосвала C_1, C_2 и C_3 , имеется пункт разгрузки

ПР1 и 2 экскаватора Э1 и Э2. Сеть дорог представляет собой 3 участка Уч 1, Уч 2 и Уч 3 длиной 400, 500 и 600 м соответственно (рисунок 4.15).

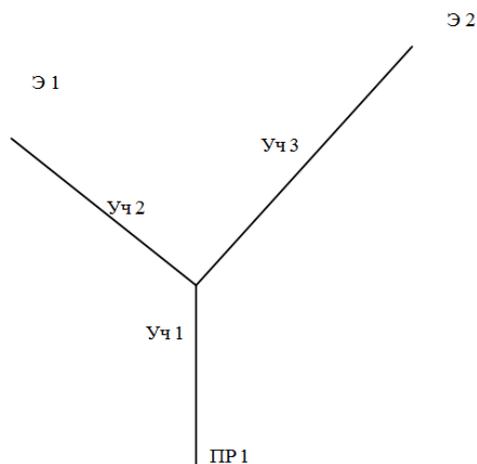


Рисунок 4.15 – Сеть дорог из трех участков (Уч 1, Уч 2 и Уч 3)

По результатам расчета получаем два маршрута движения автосамосвалов: Уч1 – Уч2 и Уч1 – Уч3. Обозначим их m_1 и m_2 соответственно, а длины маршрутов будут $l_1 = 400 + 500 = 900$ м и $l_2 = 400 + 600 = 1000$ м соответственно. Дерево с маршрутами движения автосамосвалов в этом случае будет иметь вид, показанный на рисунке 4.16.

Произведем расчет значения оценочной функции в вершинах полученного дерева. Положим, что $k_1 = k_2 = -1$, $k_3 = k_4 = 0$. Оценочная функция имеет вид:

$$F = k_1 * L + k_1 * Z,$$

где:

$$Z = \sum_{i=1}^2 | p_i - \sum_{i=1}^2 p_i / 2 |,$$

p_i – загруженность i -го экскаватора (сколько автосамосвалов едет к данному экскаватору на погрузку). Тогда, подставив значения в оценочную функцию, получим:

$$F_1 = -1*(0,9 + 0,9 + 0,9) - 1*(|3 - 3/2| + |0 - 3/2|) = -5,7;$$

$$F_2 = -1*(0,9 + 0,9 + 1,0) - 1*(|2 - 3/2| + |1 - 3/2|) = -3,8;$$

$$F_3 = -1*(0,9 + 1,0 + 0,9) - 1*(|2 - 3/2| + |1 - 3/2|) = -3,8;$$

$$F_4 = -1*(0,9 + 1,0 + 1,0) - 1*(|1 - 3/2| + |2 - 3/2|) = -3,9;$$

$$F_5 = -1*(1,0 + 0,9 + 0,9) - 1*(|2 - 3/2| + |1 - 3/2|) = -3,8;$$

$$F_6 = -1*(1,0 + 0,9 + 1,0) - 1*(|1 - 3/2| + |2 - 3/2|) = -3,9;$$

$$F7 = -1*(1,0 + 1,0 + 0,9) - 1*(|1 - 3/2| + |2 - 3/2|) = -3,9;$$

$$F8 = -1*(1,0 + 1,0 + 1,0) - 1*(|0 - 3/2| + |3 - 3/2|) = -5,7;$$

Таким образом, наибольшее значение принимает функция F2 когда автосамосвалы C1 и C2 едут по маршруту m1, а автосамосвал C3 – по маршруту m2. В данный расчет для роботизированных систем грузоперевозок должно добавляться еще время прохождения каждого маршрута с оптимальными значениями движения и скорости автосамосвалов, а также другие весовые коэффициенты, значимые для оперативного плана работы роботизированных автосамосвалов.

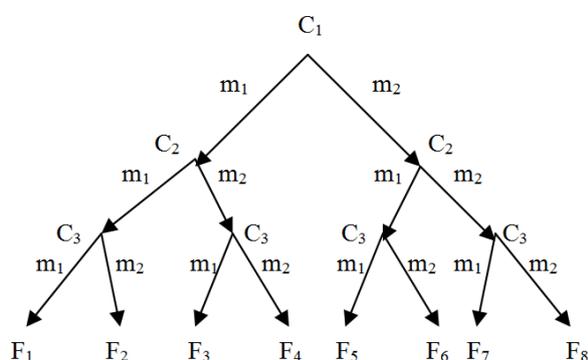


Рисунок 4.16 – Дерево маршрутов движения автосамосвалов

Модуль автоматической диспетчеризации и оптимизации обеспечивает решение следующих задач:

- автоматическое оптимальное распределение автосамосвалов в начале смены в соответствии с заданными критериями оптимизации и текущими возможностями горно-транспортного комплекса (автоматизированная выдача сменного задания);
- перераспределение автосамосвалов в течение смены при изменении условий работы в карьере, аварийных ситуациях;
- выдача рекомендаций об оптимальном количестве автосамосвалов на линии для исполнения плана грузоперевозок.

Модуль автоматической диспетчеризации и оптимизации состоит из трех основных элементов:

Модуль оперативного управления – главный инструмент работы диспетчера с системой, с помощью которого отображается вся информация,

необходимая для управления горно-транспортным комплексом в течение смены. Основной экран работы диспетчера с модулем представляет собой графическую форму, центральную часть которой занимает отображение текущего распределения автосамосвалов по маршрутам (рисунок 4.17).

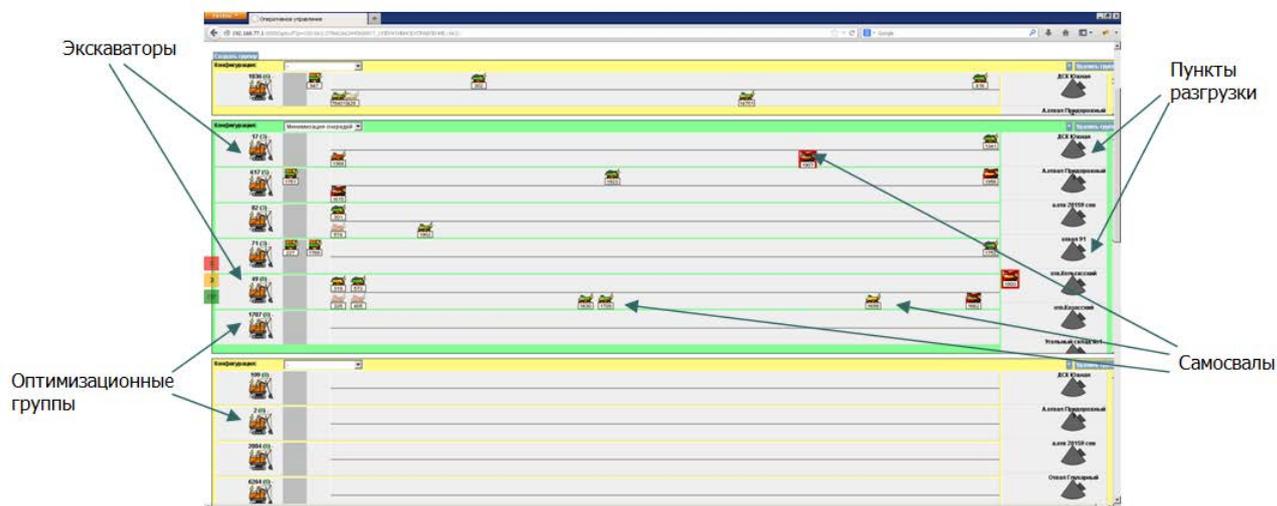


Рисунок 4.17 – Оконная форма модуля оперативного управления

В начале смены в этом окне диспетчер должен задать оптимизационные группы, вводит плановые показатели, информацию о готовности техники и вызывает модуль статической оптимизации для начального распределения карьерных автосамосвалов. В состав оптимизационной группы входят экскаваторы, пункты разгрузки и автосамосвалы. Диспетчер может указать для группы отдельную конфигурацию оптимизации - набор весов (степени значимости) критериев и других настроек, нацеленных на решение конкретной оптимизационной задачи. Например, может быть выделена группа, работающая с рудными потоками и группа, работающая с вскрышными потоками. Так же есть возможность управления отдельными группами в ручном режиме. В случае использования роботизированной систему грузоперевозок, она должны быть выделена в отдельную оптимизационную группу и разнесена с другими автосамосвалами, пунктами погрузки и разгрузки, управляющимися в ручном режиме. С помощью меняющегося цвета объектов, пиктограмм и всплывающих сообщений показывается дополнительная информация: возникновение простоев у автосамосвалов и экскаваторов; закрытие пунктов разгрузки/бункеров/секций склада; превышение нормативных или среднестатистических показателей на маршруте; отклонение эксплуатационных параметров; неполадки оборудования

и системы связи; данные от диагностических систем горной техники; плановые и фактически достигнутые показатели работы комплекса на текущий момент.

Из главного окна может вызываться ряд вспомогательных окон, отображающих второстепенную информацию, например, вызывается окно модуля контроля качества, где показывается детальная информация по складу, или окно классификации простоев.

Модуль статической оптимизации – модуль, вызываемый диспетчером из модуля оперативного управления и отображающий результаты своей работы в окне модуля оперативного управления. Он осуществляет распределение роботизированных автосамосвалов по группам маршрутов в начале смены, а так же перераспределение их в течение смены в случае изменений ситуации в карьере (поломка экскаватора, изменение требований к качеству руды/угля, подаваемой на фабрику и т.д.). Итоги работы данного модуля используются как исходные данные для модуля динамической оптимизации.

Модуль динамической оптимизации - осуществляет перераспределение автосамосвалов внутри группы в течение смены в соответствии с заданными критериями оптимизации. Данный модуль должен запускаться автоматически после каждой разгрузки автосамосвала и передает в автоматическом режиме указания бортовому компьютеру при необходимости смены маршрута через модуль оперативного управления. Предусматривается изменение маршрута роботизированному автосамосвалу и в полуавтоматическом режиме, когда система выдает сообщение диспетчеру о необходимости смены маршрута, а диспетчер принимает решение.

Могут быть использованы следующие основные критерии оптимизации: усреднение качества руды/угля (по нескольким показателям); минимизации очередей у экскаваторов; равномерность производительности экскаваторов; показания качества технологических дорог на маршруте. Так же возможно использование дополнительных критериев: выполнение плановых заданий экскаваторов/пунктов разгрузки по количеству горной массы; близость паспортной и фактической производительности экскаваторов; равномерность производительности экскаваторов (в процентах от реальной производительности); предпочтения экскаваторов (учет указаний диспетчера); другие. Роботизированные автосамосвалы должны распределяться по маршрутам для достижения оптимальных показателей по этим критериям.

Критерии используются совместно, каждому критерию сопоставляется его вес (степень важности).

Таким образом, если традиционно для маршрутизации автосамосвалов и выдачи нарядов диспетчер в течение смены корректирует, как правило, в ручную маршруты и пункты погрузки и разгрузки автосамосвалов, связываясь с водителем по рации или с помощью текстовых сообщений, переданных по беспроводным каналам передачи информации на панель автосамосвала через модули АСУ ГТК, самостоятельно оценивая ситуацию и обстановку на горных работах, то в случае роботизированных автосамосвалов использование автоматической диспетчеризации и оптимизации является базовым критерием их работы на горном предприятии и позволяет сократить время технологического цикла движения автосамосвалов за счет заранее просчитанных маршрутов, с учетом оптимальных критериев оптимизации. Для безлюдной геотехнологии добычи полезных ископаемых использование модуля автоматической диспетчеризации и оптимизации становится ключевым программным элементом создания и использования роботизированных систем грузоперевозок.

4.5. Методика тестирования роботизированных систем грузоперевозок и проведение испытаний на полигоне ОАО «БЕЛАЗ».

Тестирование основных операций роботизированной системы грузоперевозок на основе автономно и дистанционно управляемого карьерного автосамосвала БелАЗ-75131 было проведено на испытательном полигоне ОАО «БЕЛАЗ», на котором был смоделирован карьер площадью примерно 10 га. На полигоне был оборудован центр дистанционного управления, обозначены площадки ежемесячного обслуживания автосамосвала/заправки, погрузки и разгрузки, а в качестве технологической дороги использовалась испытательная трасса с переменным профилем и поворотами. Схема модели карьера и маршруты движения автосамосвала на испытательном полигоне ОАО «БЕЛАЗ» для тестирования технологии роботизированных грузоперевозок показана на рисунок 4.18. Для воспроизведения реального производственного цикла погрузочно-разгрузочных работ были использованы погрузчик на месте погрузки и бульдозер на месте разгрузки. Погрузчик и бульдозер управлялись операторами из кабины. При выполнении технологических операций использовались автономный и дистанционный режимы управления карьерным автосамосвалом.

Основными задачами тестирования роботизированной технологии грузоперевозок являются:

- оценка возможности и выявление технологических требований выполнения роботизированным автосамосвалом функций транспортировки груза по фиксированному маршруту между стационарными пунктами погрузки-разгрузки во взаимодействии с погрузчиком и бульдозером как в реальном горном предприятии;

- проверка соответствия динамических характеристик автосамосвала заданным требованиям при движении по прямой с постоянной скоростью, с разгоном и торможением, маневрировании, а также движении задним ходом по прямой на соответствующем отрезке маршрута.

Выявлены технические и технологические условия и основные факторы эффективного применения роботизированных автосамосвалов на горных предприятиях, а также основываясь требованиями к безопасности использования роботизированных систем грузоперевозок, предложена последовательность тестирования роботизированной системы при выполнении операций погрузки, транспортировки, разгрузки, движения автосамосвала в различных режимах и обеспечения безопасности показана на рисунке 4.19.

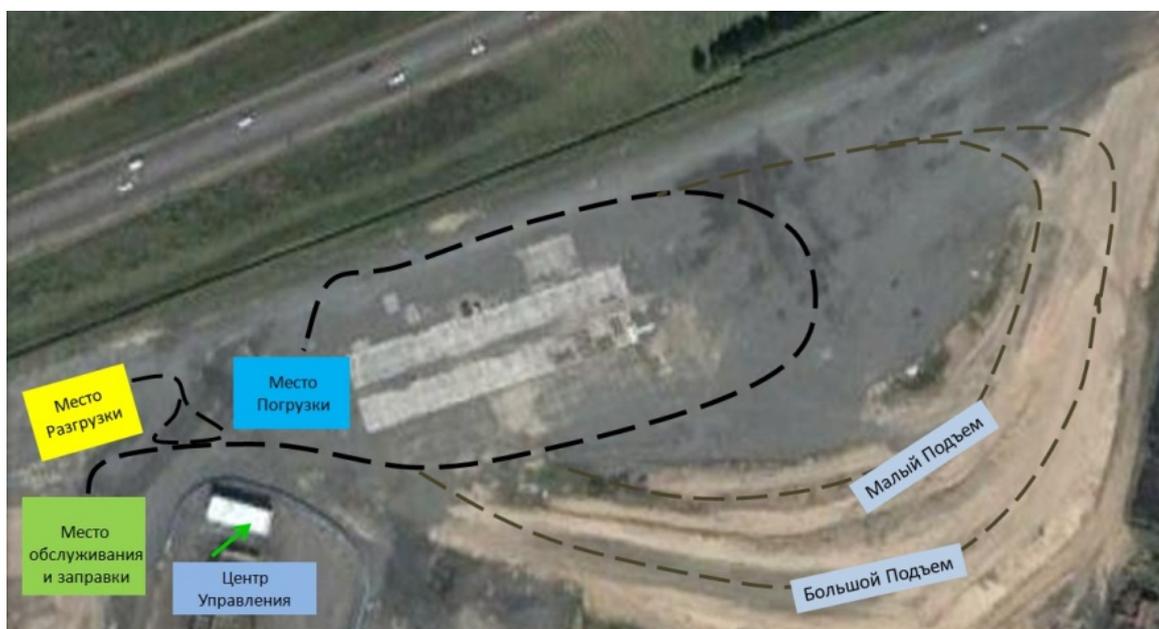


Рисунок 4.18 – Схема испытательного полигона ОАО «БЕЛАЗ» для тестирования роботизированной технологии грузоперевозок

Методика и основные этапы тестирования роботизированной технологии грузоперевозок на горных предприятиях включает:

1. Отработка первого элемента технологии начало движения. Роботизированный автосамосвал стоит заглушенный на площадке ежемесячного обслуживания/заправки. Из центра управления по команде оператора осуществляется дистанционный пуск двигателя и осуществляется движение автосамосвала к месту погрузки в автономном режиме по заданной траектории (записывается заранее) (рисунок 4.20). Фиксируется плавный старт, движение по заданной траектории и плавная остановка роботизированного автосамосвала.
2. Отработка 2-го элемента - установка самосвала под погрузку (из пункта дистанционного управления автосамосвал начинается двигаться в режиме автономного движения по заданной траектории (шаблону) к месту погрузки и останавливается в определенном месте около места погрузки. Далее в режиме дистанционного управления автосамосвал маневрирует и подъезжает на погрузку). Фиксируется отсутствие отклонений от заданной траектории движения.

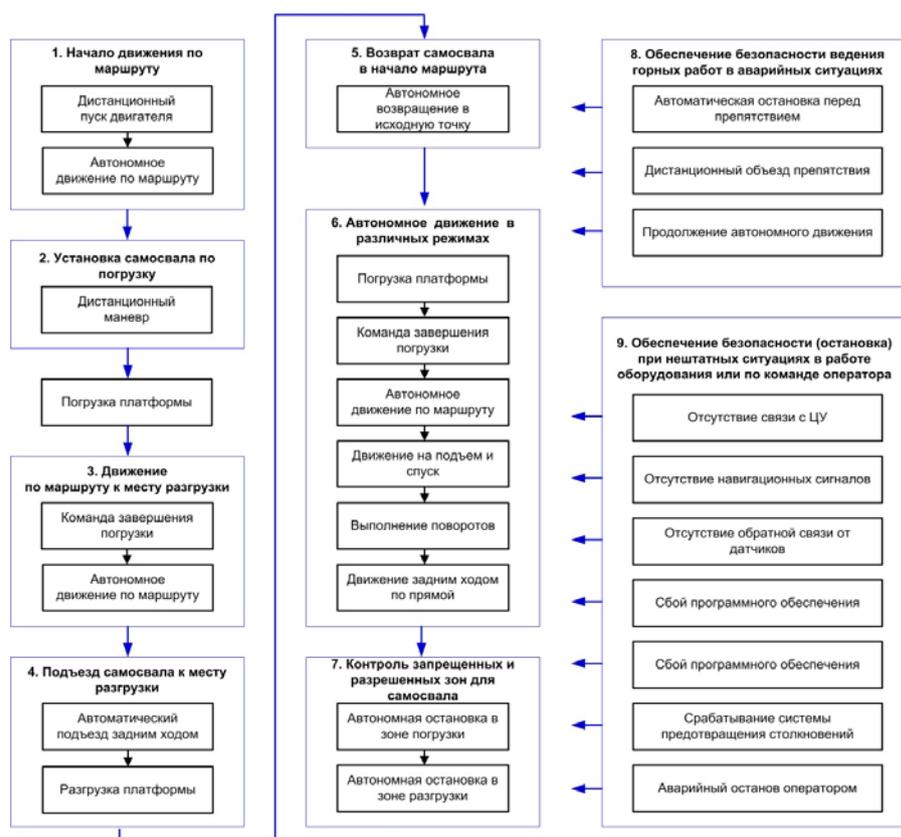


Рисунок 4.19 – Последовательность тестирования роботизированной технологии грузоперевозок

3. Оператор погрузчика выполняет загрузку платформы автосамосвала.
4. Отработка третьего элемента технологии- движение роботизированного автосамосвала по маршруту к месту разгрузки. После погрузки оператор

погрузчика дает сигнал о завершении погрузки и начале движения автосамосвала в автономном режиме к месту разгрузки. При этом проверяется возможность автоматического заезда автосамосвала в начало детерминированной траектории к месту разгрузки.

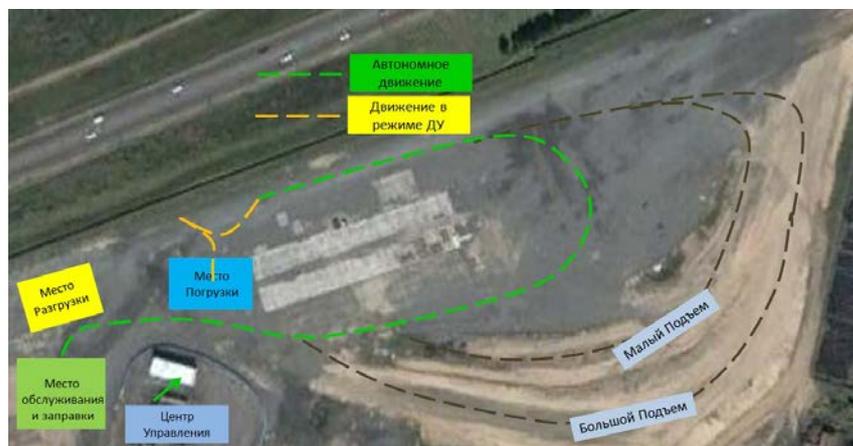


Рисунок 4.20 – Траектория автономного движения автосамосвала от места обслуживания и заправки до места погрузки и подъезда на погрузку в режиме дистанционного управления

5. Отработка четвертого элемента технологии – подъезд роботизированного автосамосвала задним ходом к месту разгрузки и разгрузка платформы в определенное место с заданными координатами в автоматическом режиме (рисунок 4.21). Для обеспечения разгрузки горной массы в определенное место с заданными координатами с центра управления автосамосвалу передается сетка с местами разгрузки.



Рисунок 4.21 – Траектория автономного движения автосамосвала от места погрузки до места разгрузки

6. Отработка пятого элемента технологии – возвращение автосамосвала в исходную точку маршрута. После завершения разгрузки платформы в заданное место самосвал в автономном режиме подъезжает в исходную точку

маршрута - площадку ежемесячного обслуживания/заправки. После отъезда автосамосвала от места разгрузки бульдозер имитирует работу на отвале - сдвигает привезенную горную массу.

7. Отработка шестого элемента технологии - движение с постоянной скоростью, по прямой с разгоном и торможением, движение на подъем и спуск, выполнение поворотов в любую сторону, а также движение задним ходом по прямой назад (рисунок 4.22). Для отработки элементов движения используется маршрут по участку полигона с большими/маленькими положительным/отрицательным уклонами дороги.
8. Отработка седьмого элемента технологии - контроль запрещенных и разрешенных зон для автосамосвала, где находятся и работают в паре с ним бульдозер и погрузчик, при этом автосамосвал в автономном режиме останавливается перед соответствующими зонами, ждет разрешения на дальнейшее движение по маршруту (рисунок 4.23).
9. Отработка восьмого элемента технологии – обеспечение безопасности ведения горных работ и сохранности автосамосвала в различных аварийных ситуациях (непредвиденные препятствия, ошибки автономного управления автосамосвалов, система мгновенной остановки автосамосвала) (рисунок 4.23). В режиме автономного управления автосамосвал движется через участок полигона с малым положительным уклоном дороги и при этом погрузчик перемещается в точку траектории движения автосамосвала для создания непредвиденного препятствия.
10. Автосамосвал при подъезде к погрузчику осуществляет автоматическую остановку, «вызов» диспетчера и переход в режим дистанционного управления.
11. Оператор в дистанционном режиме производит объезд погрузчика и останавливает автосамосвал. Далее по команде оператора автосамосвал переводится в режим автономного движения.



Рисунок 4.22 – Траектория автономного движения автосамосвала для отработки движения в различных режимах

12. Отработка девятого элемента технологии - обеспечение безопасности (остановка автосамосвала) в следующих случаях:

- отсутствие всех видов связи роботизированного самосвала с центром дистанционного управления;
 - отсутствие сигнала от навигационной системы или некачественные данные (не соответствующие режиму RTK);
 - отсутствие обратной связи от датчиков состояния автосамосвала;
 - обнаружение препятствия радаром или лидаром;
 - совершение автосамосвалом непредвиденных маневров (ускорение, торможение и т.п.);
 - неустойчивая работа бортовой компьютерной системы дистанционного управления автосамосвалом (сбой программного обеспечения);
- аварийная ситуация при дистанционном управлении автосамосвалом диспетчером (остановка автосамосвала аварийной кнопкой, расположенной на рабочем месте диспетчера центра управления).



Рисунок 4.23 – Траектория автономного движения автосамосвала от места погрузки до места разгрузки с остановкой и объездом препятствия

В разработанной методике тестирования роботизированной системы грузоперевозок отработаны все основные технологические этапы работы автосамосвала на маршруте от пункта погрузки до пункту разгрузки, в связи с этим можно считать данную методику универсальной и в дальнейшем использовать при тестировании работы роботизированных автосамосвалов на участках горных работ, где планируется использовать роботизированные карьерные автосамосвалы.

4.6. Выводы по четвертой главе

1. Определены общие требования к организации инфраструктуры и безопасности работы роботизированной системы грузоперевозок на горном предприятии, включающие технологические требования к условиям работ роботизированных карьерных автосамосвалов (разъезд со встречной карьерной техникой, движение в колонне, пересечение технологических дорог, подъезд к экскаватору(бункеру), разгрузка).

2. Разработана методика тестирования работы роботизированного карьерного автосамосвала в условиях действующего горного предприятия, включающая все ключевые технологические элементы работы роботизированного автосамосвала на горных работах.

3. Разработана методика автоматизированной оценки влияния качества технологических дорог на работу роботизированной технологии грузоперевозок, основанная на анализе уклонов и давлений в подвесках роботизированных автосамосвалов.

4. Определены зависимости параметров открытой геотехнологии от технических параметров роботизированных систем грузоперевозок (скорость передачи данных, точность систем навигации и позиционирования роботизированного автосамосвала, распознавания препятствий и проч.). Изменения параметров геотехнологии открытой разработки месторождений при использовании роботизированных систем грузоперевозок может быть весьма значительным и требуются дальнейшие детальные исследования и обоснования норм проектирования открытых горных работ в случае применения роботизированной карьерной техники.

5. Разработана математическая модель оптимизации и автоматической диспетчеризации работы автономных и дистанционно управляемых роботизированных карьерных автосамосвалов при транспортировке грузов на горном предприятии.

6. Разработана универсальная методика тестирования роботизированного карьерного автосамосвала БелАЗ - 75137 и проведены испытания его работы на полигоне ОАО «БЕЛАЗ».

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

5.1. Факторы повышения производительности техники и эффективности выполняемых работ, оценка целесообразности использования роботизированных систем грузоперевозок

Рассмотрим основные факторы повышения эффективности горных работ и оценим как роботизированные системы грузоперевозок могут влиять на снижение себестоимости грузоперевозок, повышение эффективности производства. Горно-геологические условия добычи полезных ископаемых открытым способом ухудшаются с каждым годом и связано это, в том числе, с увеличением глубины отработки карьеров. Средний коэффициент вскрыши открытых горных работ, например, в компании СУЭК увеличился с 2005 года в 1,6 раза с 2,1 т/м³ до 3,4 т/м³. В этих условиях повышение операционной эффективности было жизненно необходимо для компенсации ухудшающихся горно-геологических условий и сохранения прибыльности бизнеса. Начиная с 2005 года на открытых горных работах, был принят ряд принципиальных операционных улучшений, позволивших существенно снизить влияние отрицательных факторов. Одним из факторов повышения операционной эффективности стало использования АСУ ГТК «Карьер» на всех разрезах компании, следующим логичным фактором повышения эффективности бизнеса компании является переход на безлюдные технологии – применение роботизированных систем грузоперевозок, что по оценочным расчетам позволит повысить производительность горно-транспортного комплекса на 15-20 % за счет сокращения нетехнологических простоев связанных с применением техники человеком.

При выборе АСУ обычно проводятся прогнозные экономические оценки будущей эффективности систем [31], и для этого существуют соответствующие методики. Однако через некоторое время после внедрения выбранной системы начинает периодически возникать вопрос об оценке полученного на практике фактического экономического эффекта. Для определения полученной в результате внедрения АСУ эффективности необходимо применять единую методику на всех предприятиях. Поскольку основные экономические показатели

парка автосамосвалов, транспортирующих горную массу из экскаваторных забоев, и соответствующие показатели экскаваторного парка неразрывно связаны между собой (должны быть равны объемы загруженной экскаваторами и перевезенной автосамосвалами горной массы, одинакова производительность экскаваторов и производительность автосамосвалов, выраженные в т-час, и т.д.), то расчеты проводятся по исходным экономическим параметрам автосамосвалов. Но при этом необходимо иметь в виду, что вычисляемые показатели характеризуют весь экскаваторно-автомобильный комплекс в целом [6].

Однако внедрение и ввод роботизированной системы грузоперевозок в промышленную эксплуатацию зачастую является недостаточным фактором для достижения необходимого результата. Важную роль в обеспечении эффективного использования и функционирования роботизированной транспортной технологии грузоперевозок играют вопросы организации процессов работы персонала, управляющего ею при получении и использовании достоверной информации для решения оперативных задач. При этом опыт внедрения новой техники и технологии в горной отрасли показывает, что в процессе эксплуатации системы управления горно-транспортным комплексом могут возникать ситуации, при которых регламент ее использования нарушается, что часто связано с отсутствием лиц, ответственных за функционирование системы и формируемую в ней информацию. Кроме того, низкая степень вовлеченности персонала в работу системы, а также отсутствие инициативы сотрудников предприятия на местах может привести к тому, что ожидаемые результаты зачастую не достигаются или достигаются не в полной мере.

Решению задач оперативного управления способствует проведение периодической оценки и формирование экспертного заключения об эффективности использования роботизированной технологии грузоперевозок и рекомендации по их применению и функционированию. Современные средства обработки, хранения и передачи данных позволяют осуществлять формирование экспертного заключения о технико-экономических показателях роботизированной технологии грузоперевозок дистанционно, что существенно влияет на оперативность его проведения.

Так как первым этапом внедрения системы «Интеллектуальный карьер» является использование роботизированной системы грузоперевозок, состоящей из роботизированных автосамосвалов и условно стационарных пунктов погрузки

и разгрузки, то будем рассчитывать и оценивать эксплуатационные коэффициенты, связанные именно с работой автосамосвалов, которые приведены в таблице 5.1. В дальнейшем предлагается оценивать данные эксплуатационные характеристики работы парка автосамосвалов за месяц для оперативного контроля эффективности использования роботизированной линии грузоперевозок.

Таблица 5.1 – Эксплуатационные характеристики работы карьерных автосамосвалов

Эксплуатационные коэффициенты	Влияние использования автономной техники	Значение без использования роботизированной линии	Примечание
Коэффициент использования грузоподъемности		0,99	
Коэффициент технической готовности		0,88	
Коэффициент использования оборудования		0,77	
Общий пробег, ткм/мес.		128,926	
Пробег с грузом, ткм/мес.			57,785
Количество ездки/рейсов с грузом в месяц		39518	
Производительность за период (самосвал), м ³		933141,3	
Удельный расход дизельного топлива, г/ткм		83,8	
Удельный расход дизельного топлива, г/т			112,2
Среднее расстояние транспортирования	Условно не зависит		1,34
Выработка на 1 водителя, м ³ /чел	Нет водителей, условно 1 оператор контролирует работу четырех автосамосвалов	10551,2	
Выработка на 1 водителя, т/чел	Нет водителей, условно 1 оператор контролирует работу четырех автосамосвалов	34981,6	
Коэффициент использования парка		0,86	

Исходными данными для расчетов являются только данные, уже имеющиеся на предприятии, т.е. полученные из поддерживаемой статистики, или величины, которые легко вычисляются из известных на предприятии статистических данных. В методике используются данные за одинаковые периоды времени до и после внедрения системы. Можно использовать исходные

данные с периодичностью по полгода, по кварталам или по месяцам. Но при этом нужно учитывать, что чем меньше суммарная величина рассматриваемых периодов и чем меньше величина самих периодов, тем ниже достоверность вычислений.

Факторами повышениями производительности [99] при использовании роботизированных автосамосвалов являются:

- исключение нетехнологических простоев, связанных с человеческим фактором, к таким простоям относятся перерыв на обед, пересменка, другие простои;

- снижение списочной численности водителей автосамосвалов. Появляются операторы, которые контролируют движение автосамосвалов, которые могут в случае возникновения коллизии или другой нештатной ситуации перевести автосамосвал в режим дистанционного управления и провести его по маршруту. Соотношение операторов: 1 оператор контролирует движение 4 автономных автосамосвалов;

- снижение эксплуатационных затрат на содержание и обслуживание автосамосвалов (шины, дизельное топливо, фонд оплаты труда, расходные материалы и т.д.), связанных с некорректным управлением, усталостью водителей. Данный показатель сложно просчитать и пока роботизированный участок грузоперевозок не внедрен и не апробирован, нет возможности предоставить статистику по данному фактору;

- возможность сокращения капитальных затрат на строительство социальной инфраструктуры при Greenfield проектах – проектирование новых месторождений, за счет сокращения количества водителей автосамосвалов.

- возможность вести горные работы в условиях, где запрещено или ограничено присутствие и работа людей, а вести открытые горные работы без увеличения коэффициента вскрыши эффективней, нежели чем уходить «под землю».

На основе перечисленных факторов возможно универсально рассчитывать обоснованность применения роботизированной системы грузоперевозок на открытых горных работах и оценивать целесообразность ее использования по сравнению с традиционной схемой автосамосвальных грузоперевозок. Для общего случая расчета обоснованности использования роботизированной системы грузоперевозок целесообразно ввести функцию $f(t)$, определяющую разницу экономии от использования роботизированной системы

грузоперевозок и затрат на ее внедрение и эксплуатацию. Основные статьи экономии(затрат) при использовании роботизированных автосамосвалов: $z1$: затраты на персонал, включая операторов роботизированной техники; $z2$: затраты/экономия на сервис и обслуживание техники; $z3$: затраты/экономия на ДТ, потраченное на маршруте использованной техникой; $z4$: экономия за счет увеличения производительности работы автосамосвалов; $z5$: экономия за счет перевозки тех же объемов меньшим количеством автосамосвалов; $z6$: затраты/экономия на капитальное строительство и инфраструктуру; $z7$: затраты на обслуживание роботизированной системы грузоперевозок; $z8$: затраты на бортовое оборудование и сервер роботизированной системы грузоперевозок. $z(t)$ - затраты на внедрение и дальнейшее владение роботизированной системой грузоперевозок; $k(t)$ - экономия в год по сравнению со стандартной технологией автосамосвальных грузоперевозок.

$$K(t) = z1(t)+z2(t)+z3(t)+z4(t)+z5(t)+z6(t)+z7(t)+z8(t);$$

$$f(t) = \sum_{i:=1}^t (k(t) - z(t)),$$

Руководству горного предприятия необходимо определить требования к окупаемости использования роботизированных систем грузоперевозок и оценить при каком количестве лет функция $f(t) > 0$ удовлетворяет их политике окупаемости инвестиций [58, 60]. Данный подход к расчету окупаемости и экономической целесообразности роботизированной системы грузоперевозок применен для роботизированной системы грузоперевозок на участке «породный бункер - отвал» разреза «Черногорский» (ОАО «СУЭК-Хакассия»), на основании разработанных технических и технологических решений роботизированной системы грузоперевозок планируется создать первый в России участок горных работ с применением роботизированных карьерных автосамосвалов. В последующей главе будет приведено проектное решение для данного участка горных работ.

5.2. Проектные решения по созданию роботизированной системы грузоперевозок на участке «породный бункер-отвал» разреза «Черногорский» (ОАО «СУЭК-Хакассия»)

В связи с тем, что реализация проекта «Интеллектуальный Карьер» является сложной научно-технической и технологической задачей, как и описывалось в параграфе 2.2., реализация его первого этапа- роботизированной системы грузоперевозок будет осуществлена между стационарным пунктом погрузки и пунктами разгрузки. Данное проектное решение появится на предприятии ОАО «СУЭК-Хакассия». Между компаниями СУЭК – БЕЛАЗ и ВИСТ Групп подписан тройствен договор о внедрении на участке разреза «Черногорский» роботизированной системы грузоперевозок. Особенностью данного проекта является то, что погрузка роботизированных карьерных автосамосвалов должна осуществляться с помощью породного бункера обогатительной фабрики, а не экскаватора.

Целью внедрения роботизированной технологии грузоперевозок на основе автономных и дистанционно-управляемых карьерных автосамосвалов является повышение производительности горно-транспортного комплекса за счет оперативного автоматического контроля хода производственных процессов и эффективного управления транспортировкой горной массы, повышение эффективности использования техники и других ресурсов.

Автоматизированная система должна обеспечивать управление комплексом горного оборудования при работе роботизированных автосамосвалов на маршруте от пункта загрузки до пункта разгрузки. Цикл работы роботизированных автосамосвалов должен включать в себя поэтапную загрузку платформы в первой и во второй точках породного бункера обогатительной фабрики, движение до пункта разгрузки, заезд на площадку ожидания (при необходимости), разгрузку и обратно.

Общая схема роботизированного участка грузоперевозок породный бункер - отвал разреза «Черногорский» представлена на рисунке 5.1.

Основные элементы роботизированного участка грузоперевозок:

- пункт загрузки обогатительной фабрики;
- регулируемый перекресток;
- площадка проведения испытаний;
- пункт разгрузки.



Рисунок 5.1 – Схема роботизированного участка «породный бункер-отвал» разреза «Черногорский»

Пункт загрузки обогатительной фабрики (рисунок 5.2) имеет две точки загрузки породного бункера. Схемы заезда, ожидания загрузки, загрузки и траектории движения автосамосвалов в точках загрузки представлены на рисунке 5.3.

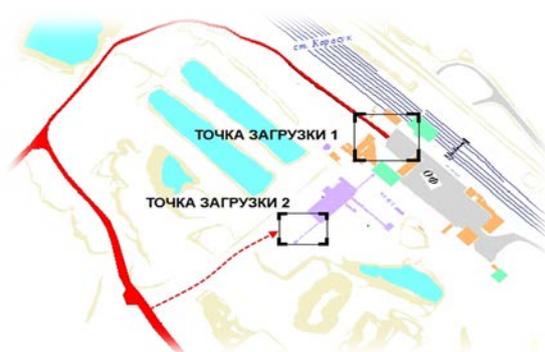
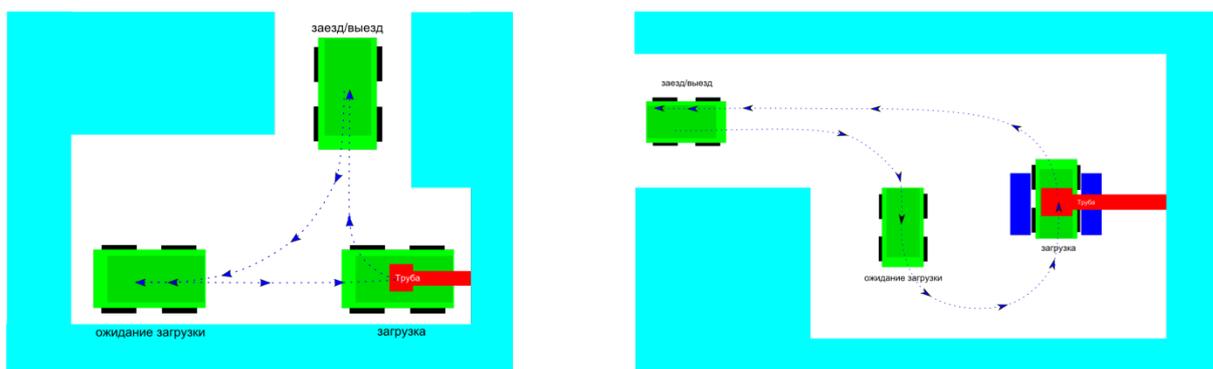


Рисунок 5.2 – Схема пункта загрузки



Точка загрузки 1

Точка загрузки 2

Рисунок 5.3 – Схема точек загрузки 1 и 2 и траектория движения роботизированных автосамосвалов

Схема регулируемого перекрестка со шлагбаумами на маршруте движения роботизированных автосамосвалов (пересечение с дорогой до склада, по которой осуществляется движение техники подрядчиков) показана на рисунке 5.4.

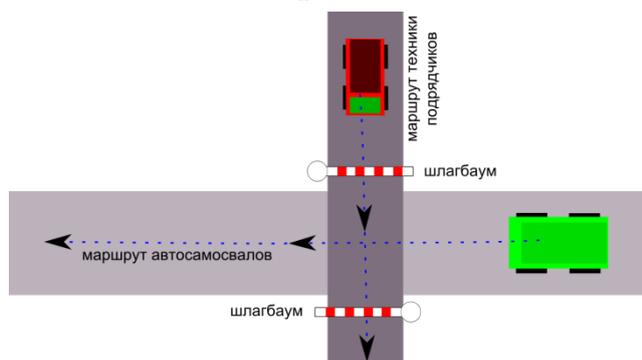


Рисунок 5.4 – Схема перекрестка

Пункт разгрузки (рисунок 5.5) является отвалом, на котором производится разгрузка роботизированных автосамосвалов. Он включает зону разгрузки автосамосвалов и зону работы бульдозера.

В зоне разгрузки определены точки разгрузки, на которых последовательно разгружаются автосамосвалы. Текущая точка разгрузки определяется системой автоматически для каждого роботизированного автосамосвала.

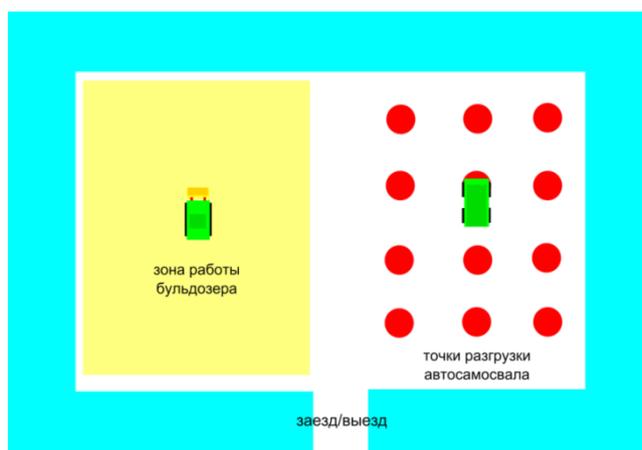


Рисунок 5.5 – Схема разгрузки автосамосвала

На маршруте движения имеется площадка проведения испытаний (рисунок 5.6), где производится стоянка роботизированных автосамосвалов, технический осмотр, обслуживание бортового оборудования, а также ожидание автосамосвалов при передаче управления водителю в ручной режим.

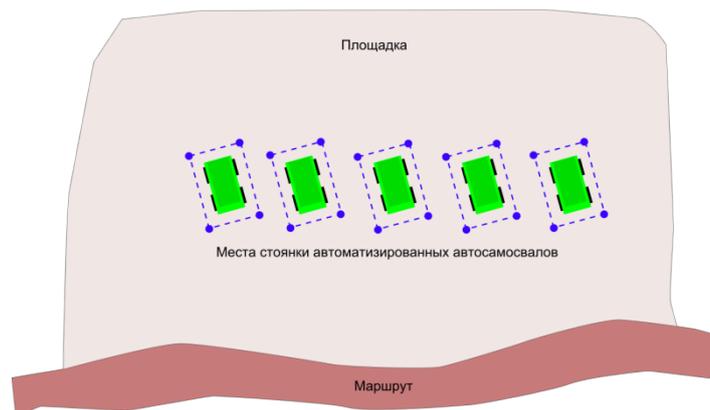


Рисунок 5.6 – Схема площадки проведения испытаний

На площадке для каждого роботизированного автосамосвала закрепляется обозначенное на местности постоянное место стоянки. В случае если зарезервированное для определенного автосамосвала место занято другим автосамосвалом, оно может изменяться техническим специалистом или автоматически системой.

Основу комплекса горного оборудования роботизированной системы грузоперевозок составляют автосамосвалы БелАЗ-75137 (4 шт.), оснащенные оборудованием автономного/дистанционного управления и вспомогательный технологический транспорт (бульдозер и погрузчик).

Для автономного и дистанционного управления комплексом горного оборудования роботизированной системы грузоперевозок предлагается создание автоматизированной системы (рисунок 5.7), которая включает следующие функциональные компоненты:

- центр управления, включающий в себя рабочее место диспетчера и пункт дистанционного управления (ПДУ);
- серверное оборудование, состоящее из основного сервера и резервного сервера;
- оборудование высокоточной навигации, включающее в себя станцию дифференциальной поправки, входящую в комплект ПДУ, и навигационные приемники, входящие в комплект бортового оборудования автосамосвалов и вспомогательной техники;
- оборудование голосовой связи для диспетчера, водителя ПДУ и прочего технического персонала;
- система внешнего видеонаблюдения за основными зонами на маршруте и возможными местами нахождения автономной техники;
- система беспроводной передачи данных;
- комплекты бортового оборудования, смонтированные на мобильных объектах и обеспечивающие автономное и дистанционное управление, контроль параметров машины и оборудования, видеонаблюдение и высокоточное определение местоположения;
- оборудование обеспечения безопасности, включающее в себя ограждение, контрольно-пропускной пункт (КПП), пульты дистанционной остановки автосамосвалов и бортовое оборудование системы аварийной остановки.

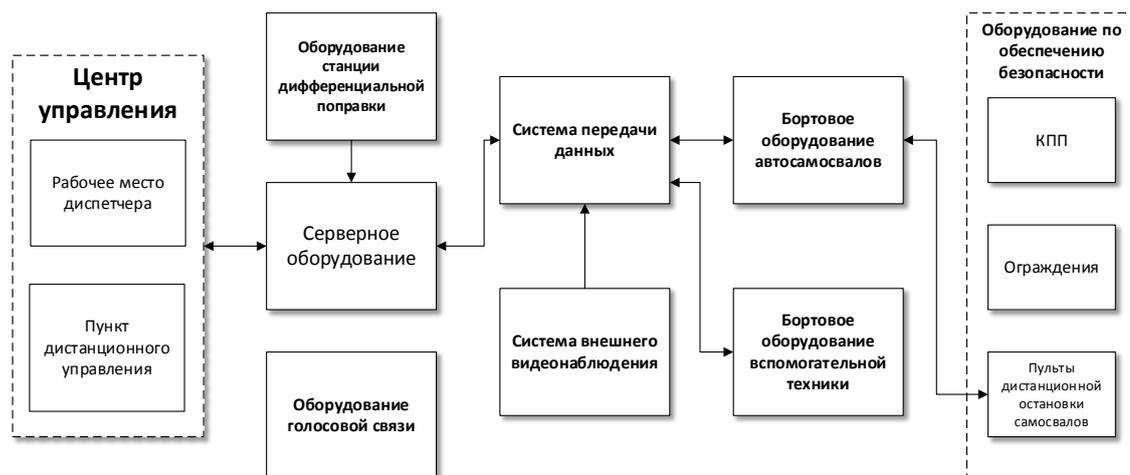


Рисунок 5.7 – Обобщенная структурная схема автоматизированной системы роботизированной линии грузоперевозок

Роботизированные карьерные автосамосвалы БелАЗ-75137 должны быть оснащены бортовым оборудованием в составе:

- программно-аппаратный комплекс дистанционного и автономного управления;
- оборудование высокоточной навигации;
- система предотвращения столкновений;
- бортовое оборудование видеонаблюдения;
- система аварийной остановки и сигнализации;
- бортовое оборудование беспроводной передачи данных.

Бортовое оборудование вспомогательной техники должно позволять осуществлять ее перевод в режим автономного управления с минимальными заменами установленного оборудования. Для обеспечения контроля и управления движением автосамосвалов в режиме дистанционного управления предлагается следующий состав оборудования пункта дистанционного управления:

- программно-аппаратный комплекс удаленного управления роботизированным автосамосвалом;
- пульт управления оператора с приборной панелью, органами управления, креслом;
- оборудование визуализации и звукового контроля;

- система передачи данных;
- станция дифференциальной поправки;
- система аварийной остановки и сигнализации.

Пункт дистанционного управления представляет собой рабочее место с приборной панелью, рулевым колесом и органами управления (педалями акселератора, рабочей и вспомогательной тормозных систем, рычагом стояночного тормоза) в точности повторяющее кабину автосамосвала БелАЗ.

При выборе системы передачи данных принималось во внимание следующие требования:

- обеспечение возможности передачи данных на территории ведения работ и возможных мест нахождения техники;
- обеспечение возможности минимальными средствами без изменения настроек сети проводить модернизацию, необходимую в связи с изменением пространственного расположения работ;
- обеспечение функционирования сети передачи данных при отключении питания отдельного ретранслятора;
- включение в локальную вычислительную сеть рабочих мест пользователей системы на территориально удаленных объектах;
- для всего оборудования, находящегося в зоне проведения работ требуется постоянный режим онлайн.

Для построения беспроводной системы передачи данных и видеосигналов целесообразно использовать оборудование широкополосной передачи данных, позволяющее создавать MESH топологию, в которой мобильные объекты являются ретрансляторами сигналов. При этом сеть должна обеспечивать передачу данных с основного технологического оборудования и приборов и объединять рабочие места пользователей на территориально удаленных объектах.

Вся вспомогательная техника, постоянно находящаяся в зоне работы автономной техники должна быть оснащена средствами навигации для контроля диспетчером ее местоположения, а технический персонал иметь оборудование голосовой связи, интегрированное с GPS приемником. Таким образом, диспетчер может определять местоположение техники и технического персонала в любой момент времени и эффективно координировать их действия.

Рабочее место диспетчера должно быть оснащено промышленным компьютером, подключенного к основному серверу через коммутатор Ethernet, а

также пятью мониторами (дисплеями) и оборудованием голосовой связи с техническим персоналом. На мониторах отображаются карта, места расположения роботизированных автосамосвалов, вспомогательной техники и технического персонала, линейные схемы движения всех автосамосвалов, информации о состоянии всех мобильных объектов, всех и одной выбранной камеры внешнего видеонаблюдения.

Для обеспечения безопасности персонала и предотвращения несанкционированного доступа вокруг всей зоны работы автономной техники, включающей маршрут автосамосвалов, пункты загрузки и площадку ожидания устанавливается ограждение, информационные и предупреждающие таблички и знаки. Для контроля доступа в зону работы роботизированного автотранспорта устанавливается мобильный контрольно-пропускной пункт со шлагбаумом (в процессе эксплуатации системы возможно изменение маршрута движения) и легко переносимое ограждение.

Технический персонал, работающий в зоне работы роботизированной линии грузоперевозок, должен иметь портативные пульта дистанционной остановки всей автономной техники находящейся в прямой видимости на расстоянии до 100 м. Бортовое оборудование системы предотвращения столкновений автосамосвалов должно обеспечивать обнаружение объектов размером с человека в зоне кругового обзора 360°. Ввод в эксплуатацию роботизированной системы грузоперевозок в условиях предприятия «Черногорский разрез» целесообразно осуществлять в три этапа после проведения испытаний роботизированного автосамосвала БелАЗ-75137 режиме дистанционного управления и автономного движения по методике испытаний проведенных в условиях заводского полигона БЕЛАЗ, описанной в параграфе 4.5.

1. Этап опытной эксплуатации.

На участке запускается в работу один роботизированный автосамосвал БелАЗ-75137, действия которого контролируются водителем ПДУ. Движение по маршруту производится в режиме автономного управления. Заезд под загрузку и разгрузка производятся в режиме дистанционного управления.

2. Этап опытно-промышленной эксплуатации.

Движение роботизированного автосамосвала БелАЗ-75137, включая заезд под загрузку и разгрузку, производятся в режиме автономного управления. Водитель ПДУ берет управление на себя в случае возникновения аварийных

ситуаций и невозможности продолжения работы автосамосвала в режиме автономного управления.

3. Этап промышленной эксплуатации.

На участке запускаются в работу все роботизированные автосамосвалы БелАЗ-75137 (4 шт.) в режиме автономного управления, включая заезд под погрузку и разгрузку. Водитель ПДУ берет на себя управление автосамосвалами по команде технического специалиста в случае возникновения аварийных ситуаций и невозможности продолжения работы автосамосвала в режиме автономного управления.

В рамках поэтапного ввода в эксплуатацию роботизированной системы грузоперевозок предлагается следующий регламент работ, представленный в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Регламент работы роботизированной технологии грузоперевозок

Действие	Эксплуатация		
	Опытная	Опытно промышленная	Промышленная
1	2	3	4
Стоянка	На зарезервированном месте на площадке		
Запуск двигателя	Вручную из кабины автосамосвала	Дистанционно водителем ПДУ по команде технического специалиста, посредством нажатия на соответствующую кнопку на приборной панели	Дистанционно по команде технического специалиста через интерфейс рабочего места технического специалиста
Проверка систем и готовность к работе	Автоматически после запуска двигателя		
Обнаружены неисправности	Отображение неисправности в интерфейсах рабочего места технического специалиста и водителя ПДУ с указанием причины неисправности Вызов технических специалистов Исполнителя	Отображение неисправности в интерфейсах рабочего места технического специалиста и водителя ПДУ, с указанием причины неисправности Вызов ремонтной службы техническим специалистом посредством голосовой связи	
Неисправности не	Готовность к началу движения. Отображение готовности в интерфейсах		

обнаружены	рабочего места технического специалиста и водителя ПДУ	
Начало движения	Запуск режима автономного управления водителем ПДУ посредством нажатия на соответствующую кнопку на приборной панели	Запуск режима автономного управления техническим специалистом через интерфейс рабочего мест технического специалиста
Выезд на маршрут	В режиме автономного управления	
Движение по маршруту к пункту загрузки	В режиме автономного управления	
Выбор точки загрузки	Загрузка производится только в точке загрузки 1	АС автоматически выбирает свободную точку загрузки В случае если обе точки загрузки заняты, АС выбирает ту точку, где загрузка автосамосвала началась позже
Заезд в зону точки загрузки	В режиме автономного управления	
Заезд на место ожидания погрузки	В режиме автономного управления	
Точка загрузки занята	Ожидание заезда под загрузку	
Точка загрузки освободилась	Определяется автоматически Отображение готовности к заезду под загрузку в интерфейсе рабочего места технического специалиста и водителя ПДУ	
Заезд под загрузку	В режиме дистанционного управления	В режиме автономного управления
Сигнал готовности к загрузке	Водителем ПДУ, посредством нажатия на соответствующую кнопку на приборной панели или посредством голосовой связи	Автоматически
Старт загрузки	Оператором бункера	Автоматически
Загрузка	Автосамосвал не глушится	Автосамосвал глушится автоматически (при необходимости) Параметры при которых автосамосвал глушится настраиваются вручную в интерфейсе рабочего места технического специалиста
Сигнал о завершении загрузки	Оператором бункера посредством голосовой связи	Автоматически

Запуск автосамосвала	Автосамосвал не заглушен	Автоматически в случае, если был заглушен	
Выезд из зоны точки загрузки	В режиме автономного управления		
Движение по маршруту к пункту разгрузки	В режиме автономного управления		
Разъезды	В режиме автономного управления		
Разъезд на широкой дороге	Остановка	Снижение скорости	
Проезд узких участков без возможности разъезда	Остановка перед участком или в «кармане» на участке в случае, если по участку движется какая-либо техника навстречу движению автосамосвала		
Проезд перекрестков	В режиме автономного управления Автосамосвалы снижают скорость перед перекрестком Предупреждение в интерфейсе водителя ПДУ	В режиме автономного управления Без снижения скорости	
	Шлагбаумы для проезда техники въезжающей/пересекающей зону работы автономной техники открываются только по команде технического специалиста.		
Въезд/проезд зоны работы автономной техники	Регламент въезда/проезда зоны работы автономной техники техникой подрядчика описан в пункте. Данный регламент распространяется на все МО въезжающие/проезжающие зону работы автономной техники.		
Заезд на пункт разгрузки	В режиме автономного управления		
Остановка	Остановка для передачи управления водителю ПДУ Индикация в интерфейсе водителя ПДУ и звуковой сигнал	Не требуется	
Разгрузка	В режиме дистанционного управления	В режиме автономного управления в одной заранее определенной точке разгрузки	В режиме автономного управления, согласно регламенту, описанному в пункте.
Выезд из зоны разгрузки	В режиме дистанционного управления	В режиме автономного управления	

Движение по маршруту	В режиме автономного управления	
Аварийная остановка	Автосамосвал останавливается не зависимо от того, в каком месте на маршруте он находится. Отображение сигнала об аварийной остановки в интерфейсе технического специалиста и водителя ПДУ с указанием причины остановки	
Неисправность оборудования	Сигнал в интерфейсе технического специалиста и водителя ПДУ с указанием причины неисправности	
	Вызов специалистов Исполнителя Передача управления водителю (ручное управление).	Вызов ремонтной службы техническим специалистом посредством голосовой связи Остановка техническим специалистом автоматизированных автосамосвалов. Технический специалист может остановить всю автоматизированную линию или несколько выбранных автосамосвалов. Передача управления водителю (ручное управление).
Возникновение препятствия	Сигнал в интерфейсе технического специалиста и водителя ПДУ. Передача управления водителю ПДУ	
Невозможность разезда	Сигнал в интерфейсе технического специалиста и водителя ПДУ. Передача управления водителю ПДУ	
Уход с маршрута	Сигнал в интерфейсе технического специалиста и водителя ПДУ. Передача управления водителю ПДУ	
Заправка	На площадке стоянки после блокировки режима автономного управления (вручную нажатием на кнопки, расположенные на борту автосамосвала)	
Переезд в зону ремонта и технического обслуживания автосамосвала	В режиме ручного управления после блокировки режима автономного управления (вручную нажатием на кнопки, расположенные на борту автосамосвала)	
Неисправность на маршруте	Вызов механиков, регламент работы с неисправным оборудованием.	
Плановые работы	Передача управления водителю (ручное управление) на площадке стоянки после блокировки режима автономного управления (вручную нажатием на кнопки, расположенные на борту автосамосвала)	

Для надежного функционирования роботизированной системы грузоперевозок на предприятии должно быть организовано обучение технического персонала и создана служба технической поддержки.

Выше описанные проектные решения являются первой реализацией роботизированной системы грузоперевозок на основе карьерных автосамосвалов БелАЗ. С учетом приведенных факторов повышения эффективности

использования роботизированной техники на горных работах, описанных в параграфе 5.1, проектное решение создания и применения системы грузоперевозок на участке «породный бункер-отвал» разреза «Черногорский», является первым этапом создания проекта «Интеллектуальный Карьер», а использование роботизированных карьерных автосамосвалов БелАЗ может способствовать повышению эффективности грузоперевозок на выбранном участке.

5.3. Оценка экономической эффективности роботизированной системы грузоперевозок для условий разреза «Черногорский» (ОАО «СУЭК-Хакассия»)

На основе вышеописанного проектного решения создания роботизированной технологии грузоперевозок для разреза «Черногорский» требуется оценить экономическую целесообразность, возврат инвестиций и оценить эксплуатационные характеристики использования роботизированных автосамосвалов. Данный расчет является вырожденным представлением расчета, описанного в параграфе 5.1, так как автоматизации подвергается только участок горных работ «породный бункер – отвал», а не все горные работы. Ориентировочная стоимость внедрения системы с четырьмя роботизированными автосамосвалами БелАЗ-75137 рассчитывается исходя из затрат на приобретение оборудования (таблица 5.3) и выполнение работ (таблица 5.4).

Таблица 5.3 – Стоимость оборудования роботизированной линии грузоперевозок

Наименование	Цена, руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, руб
Оборудование автономно и дистанционно управляемого автосамосвала БелАЗ-75137	8 613 131,885	4	34 452 527,54
Оборудование вспомогательной техники	889 941,33	0	0,00
Оборудование пункта дистанционного управления	3 756 772,70	1	3 756 772,70
Серверное оборудование	1 281 718,36	1	1 281 718,36
Оборудование сети передачи данных и внешнего видеонаблюдения	10 235 084,42	1	10 235 084,42
Оборудование рабочего места диспетчера	409 947,80	1	409 947,80
Оборудование безопасности	5 890 560,00	1	5 890 560,00

Комплект ЗИП	12 189 843,70	1	12 189 843,70
--------------	---------------	---	---------------

Итого затраты, связанные с приобретением оборудования для создания роботизированной линии грузоперевозок составляют 68 216 454,52 рублей.

Таблица 5.4 – Стоимость выполняемых работ по внедрению роботизированной линии

Наименование	Цена, руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, руб.
Инженерное обследование, разработка и согласование технического проекта, получение разрешения на эксплуатацию дистанционно и автономно управляемой техники в карьере	531 000,00	1	531 000,00
Работы по получению разрешений на использование радиочастот для сети WiFi и магистрального канала	1 156 400,00	1	1 156 400,00
Установка, настройка и тестирование оборудования автономного управления самосвалом	1 528 100,00	1	1 528 100,00
Установка и настройка пункта дистанционного управления	2 183 000,00	1	2 183 000,00
Установка и настройка серверного оборудования	1 121 000,00	1	1 121 000,00
Монтаж, настройка системы беспроводной передачи данных и внешнего видеонаблюдения	1 121 000,00	1	1 121 000,00
Установка и настройка оборудования рабочего места диспетчера	354 000,00	1	354 000,00
Установка ограждения и контрольно-пропускного пункта	118 000,00	1	118 000,00
Оснащение и настройка вспомогательной техники	0,00	0	0,00
Пуско-наладка системы и инженерное сопровождение, обучение пользователей	5 239 200,00	1	5 239 200,00
Годовая техническая поддержка	354 000,00	1	354 000,00

Итого затраты, связанные с работами на внедрение данной системы составляют 13 351 700,00 рублей.

Общие затраты на создание роботизированной линии грузоперевозок на участке «породный бункер – отвал» разреза «Черногорский» составляют 81 568 154,52 рублей.

Факторы влияющие на повышение эффективности работы роботизированной линии грузоперевозок в отличие от традиционного способа

транспортировки на данном участке являются сокращение нетехнологических простоев, связанных с человеческим фактором, а также сокращение затрат на линейный персонал водителей, работающего на автосамосвалах данной линии «породный бункер-отвал». Четыре водителя заменяются одним оператором, контролирующим работу четырех роботизированных автосамосвалов.

В таблице 5.5 приведен расчет затрат на персонал при стандартной схеме и внедрении роботизированной технологии грузоперевозок.

Таблица 5.5 – Расчет затрат на персонал

Наименование	Единица измерения	Стандартная схема	Роботизированная технология грузоперевозок	Изменение
Кол-во автосамосвалов	шт.	4	4	
Другая техника	шт.	0	0	
Кол-во водителей автосамосвалов	чел.	16	4	-12
Машинисты (экскаватор/погрузчик)	чел.	0	0	0
Текучка кадров	% в год	25%	10%	15%
Стоимость поиска и адаптации персонала (~ 7% от зарплаты сотрудника)	руб.	19 600,00	1 960,00	17 640,00
Зарплата водителя, включая бонус	руб./в год	70 000,00	70 000,00	
Фонд оплаты труда водителей	руб./в год	1 120 000,00	280 000,00	840 000,00
Зарплата машиниста, включая бонус	руб./в год	85 000,00	85 000,00	
Фонд оплаты труда машинистов, операторов	руб./в год	-	-	0
Общие затраты на персонал		1 139 600,00	281 960,00	- 857 640,00

Экономия на персонале в год составляет 857640 рублей.

В таблице 5.6 приведены данные расчета по экономии на обслуживании автосамосвалов в год при внедрении роботизированной линии грузоперевозок, которая составляет 1800000,00 рублей.

Экономия дизельного топлива при внедрении роботизированной технологии грузоперевозок в год составляет 15250809,60 рублей (таблица 5.7), а экономия за счет повышения производительности техники составляет 38512396,36 рублей (таблица 5.8).

Таблица 5.6 – Экономия на обслуживании автосамосвалов и в год

Наименование	Единица измерения	Значение	Фактор
Стоимость автосамосвала	руб.	60 000 000,00	
Стоимость облуживания самосвала в год	руб.	4 500 000,00	7,5%
Уменьшение стоимости обслуживания в год	руб.	450 000,00	10%
Кол-во самосвалов	шт.	4	
Экономия на обслуживании в год	руб.	1 800 000,00	

Таблица 5.7 – Экономия на потреблении дизельного топлива автосамосвалами в год

Наименование	Единица измерения	Значение
Среднее потребление топлива в час самосвалом	литров в час	180
Коэффициент технической готовности роботизированных автосамосвалов	%	93%
Кол-во автосамосвалов	шт.	4
Потребление дизельного топлива самосвалом в год	литров	1 466 424,00
Общее потребление в год	литров	5 865 696,00
Стоимость литра дизельного топлива	руб./литр	26
Общие затраты на дизельное топливо автосамосвалов	руб.	152 508 096,00
Экономия, при испльзовании роботизированной линии	%	10%
Экономия дизельного топлива, при использовании роботизированной линии грузоперевозок	руб.	15 250 809,60

Таблица 5.8 – Экономия за счет повышения производительности техники

Наименование	Единица измерения	Значение	Фактор
Производительность в день	тонн	15 065,07	
Производительность автосамосвалов в год	тонн	5 498 750,00	
Затраты на транспортировку	руб./за тонну	95	
Затраты на транспортировку	руб. в год	522 381 250,00	
Увеличение производительности автосамосвалов	тонн в год	549 875,00	10%

Увеличение производительности	руб. в год	52 238 125,00	10%
Дополнительные затраты на ДТ	литров	527 912,64	9%
Дополнительные затраты на ДТ	руб.	13 725 728,64	
Экономия	руб. в год	38 512 396,36	

Общая экономия помимо затрат на персонал в год составляет 55563205,96 рублей.

Произведенный расчет показывает, что затраты на внедрение роботизированной технологии в 81 568 154,52 рублей на участке «породный бункер-отвал» разреза «Черногорский» при сохранении текущего значения автосамосвалов и при достижении плановых значений внедрения системы 6-9 месяцев окупаются менее чем за 2 года. Это свидетельствует об экономической обоснованности внедрения и применения роботизированных систем грузоперевозок на данном участке, так как существенно выше ставки рефинансирования ЦБ и консервативных способов вложения капитала.

Создание роботизированных систем грузоперевозок обеспечит безопасность открытых горных работ, повышение эффективности и производительности труда, возможность добычи полезных ископаемых в труднодоступных природных и климатических регионах России со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями. В связи с этим обосновывается применение на открытых горных работах роботизированных систем грузоперевозок.

5.4. Выводы по пятой главе

1. Установлены основные факторы повышения эффективности горных работ при использовании роботизированных систем грузоперевозок, а также предложена методика расчета экономической целесообразности применения роботизированных систем грузоперевозок по сравнению со стандартной схемой автосамосвальных грузоперевозок для горных предприятий.

2. Разработан комплекс проектных решений по использованию роботизированной систем грузоперевозок на участке "обогащительная фабрика-отвал" Черногорского угольного разреза ОАО «СУЭК-Хакасия».

3. Получена оценка экономической эффективности использования роботизированной линии грузоперевозок в условиях разреза «Черногорский»

ОАО «СУЭК-Хакасия», а ожидаемый срок окупаемости всех затрат на ввод в действие роботизированной системы грузоперевозок для анализа общего случая составит не более 2 лет.

4. Создание роботизированных систем грузоперевозок повышение эффективности и производительности труда, возможность добычи полезных ископаемых в труднодоступных природных и климатических регионах России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой дано решение актуальной научно-практической задачи разработки и обоснования технических и технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах. Основные выводы и практические результаты работы, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Проведен анализ современного состояния, перспектив и общих тенденций развития автоматизированных систем управления горно-транспортным комплексом, обоснована техническая и технологическая возможность создания роботизированных систем грузоперевозок на основе модернизации основных программно-аппаратных компонентов АСУ ГТК.

2. Сформулированы и обоснованы научно-методические принципы создания и технологии применения роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах, определяющие направления развития основных компонентов АСУ ГТК. Обосновано, что применение роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах является основным (ключевым) этапом реализации проекта «Интеллектуальный карьер».

3. Разработаны технические требования, решения и архитектура программного обеспечения для создания и применения роботизированного и дистанционно-управляемого карьерного автосамосвала, как основного элемента безлюдных технологий грузоперевозок, а также определены перспективные направления по модернизации конструкции роботизированного карьерного автосамосвала.

4. Определены общие требования к организации инфраструктуры роботизированной системы грузоперевозок на открытых горных работах и обоснованы технологические условия работы роботизированных карьерных автосамосвалов: разъезд со встречной карьерной техникой; движение в колонне; пересечение технологических дорог; подъезд к экскаватору (бункеру); разгрузка; контроль качества технологических дорог. Определены условия и основные правила безопасности при применении дистанционно управляемых и автономных карьерных автосамосвалов на линии.

5. С использованием предложенной методики тестирования роботизированной системы грузоперевозок проведены испытания

роботизированного карьерного автосамосвала БелАЗ-75137 в условиях полигона ОАО «БЕЛАЗ».

6. Разработана математическая модель оптимизации и автоматической диспетчеризации технологии применения роботизированных карьерных автосамосвалов, включенных в единую АСУ ГТК горного предприятия, позволяющая производить расчёт оптимальных маршрутов движения роботизированных автосамосвалов с учетом изменения внешних факторов движения, таких как перекрытие участка дороги, поломка одного из экскаваторов, корректировка плана грузоперевозок, изменение количества автосамосвалов на линии.

7. Установлены основные факторы повышения эффективности горных работ при использовании роботизированных систем грузоперевозок, предложена методика расчета их экономической целесообразности.

8. Разработан технический проект по использованию роботизированной системы грузоперевозок на участке «обогащительная фабрика-отвал» Черногорского угольного разреза ОАО «СУЭК-Хакасия» и получена оценка экономической эффективности ее использования. Ожидаемый срок окупаемости всех затрат на ввод в действие роботизированной системы грузоперевозок составит не более 2 лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматизированные системы управления технологическими процессами в горном производстве. Сборник научных трудов под ред. Акад. Шемякина Е.И. Новосибирск, Изд. ИГД СО АН СССР, 1986, 246 с.
2. Акишев А.Н., Зырянов И.В. Перспективы применения безлюдной технологии на карьерах АК «Алроса» // Тезисы научно-практической конференции «ТЕХГОРМЕТ - 21 ВЕК», 15-16 ноября 2012 г., с. 16-17.
3. Анистратов К.Ю. Основные тенденции развития открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых в XXI веке // Горная промышленность, 2011, №6.
4. Анистратов К.Ю. Разработка стратегии технического перевооружения карьеров // Горная промышленность, 2012, №4.
5. Ахмедов Д. Ш. , Елубаев С. А. , Шабельников Е. А. , Автоматизированные системы управления. Объектно-ориентированные диаграммы деятельности горно-транспортной системы карьера. ВЕСТНИК Автоматизации № 2 (40), июнь, 2013 с.8-12.
6. Батаев А.В. Резервы повышения операционной эффективности горнодобывающих компаний: ремонты оборудования / А.В. Батаев, Д.А. Клебанов // Горная промышленность – 2013 - №5 (111) –С. 47-49.
7. Бахтурин Ю. А., к.т.н., ИГД УрО РАН. Современное состояние карьерного транспорта. Каталог-справочник «Горная Техника – 2005»
8. Бахтурин Ю.А. Современные тенденции развития карьерного транспорта. Семинар № 16 с. 03
9. Бахтурин Ю.А. Статья о современном состоянии карьерного транспорта. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/carier/index.html>, http://www.giab-online.ru/files/Data/2009/7/Bahturin_7_2009.pdf, (10.10.2014)

10. Баранов Ю.Д., Зберовский А.В., Клебанов А.Ф. Перспективы применения геоинформационных систем и технологий для ведения горно-транспортных работ на карьерах // Материалы VI национальной конференции с международным участием по открытой добыче полезных ископаемых. Нессебр (Болгария), 2002, с.311-317
11. Бондаренко А.В., Клебанов Д.А. Диспетчеризация – повышение эффективности горных работ. Глобус. № 2 (15), 2011, с. 68-74.
12. Васильев М.В. Внутрикарьерное складирование и перегрузка руд. М.,Недра, 1968, 246 с.
13. Васильев М.В. Комбинированный карьерный транспорт. М., Недра, 1965, с.187
14. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров. М., Недра, 1983, с. 276.
15. Васильев М.В., Сисин А.Г., Тимофеев Б.А. Эксплуатация автомобильного и железнодорожного транспорта на карьерах цветной металлургии. М., Цветметинформация, 1969, 33 с.
16. Васильев М.В., Смирнов В.П., Котяшев А.А. М. Повышение эффективности автомобильного транспорта на карьерах черной металлургии. М., Черметинформация, 1971, 32 с.
17. Васильев М.В., Смирнов В.П., Кудрявцев А.А. Строительство, ремонт и обслуживание автомобильных дорог на карьерах цветной металлургии. М., Цветметинформация, 1971, 30 с.
18. Васильев М.В., Смирнов В.П., Сироткин З.Л. Исследование работы автопоезда БелАЗ-548В-5272 в карьерных условиях. Автомобильный транспорт, 1969, № 2, с. 18-21.
19. Васильев М.В., Яковенко Б.В., Яковлев В.Л. Опыт планирования работы карьерного транспорта с использованием математических методов и вычислительной техники. М., Недра, 1966, 27 с.
20. Галиев С.Ж., Бектуреев А.С., Каимов А.Т. Методика расчета расхода топлива автотранспортом в рамках автоматизированной системы управления

- геотехнологическим комплексом на открытых разработках. Конференция 2008, с. 26-27 http://www.blastmaker.kg/downloads/conf2008_reports.pdf
21. Владимирова Д.Я., Клебанов А.Ф., Перепелицын А.И. Система диспетчеризации «Карьер»: От мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере // Горная промышленность. 2004. №4. С.34-39
 22. Ганицкий В.И., Велесевич В.И.. Менеджмент горного производства: Учеб. пособие для вузов. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004, 357 с.
 23. Ганицкий В.И., Организация производства на карьерах. М.: Недра, 1983, с. 232.
 24. ГЛОНАСС-оборудование «М2М телематики» интегрировано в технику Liebherr //
 25. Дьяченко К.И. Использование инновационного горно-шахтного оборудования в угледобывающих регионах России как важный шаг на пути к модернизации // Сборник ИНИОН РАН, 2012.
 26. Егоров А.Н., Бигель В.Н., Гучек Е.М.. Роботизированный карьерный самосвал БЕЛАЗ-75131 – реальный шаг на пути интеграции в роботизированный горнодобывающий комплекс // Тезисы научно-практической конференции «ТЕХГОРМЕТ - 21 ВЕК», 15-16 ноября 2012 г., с. 24-26.
 27. Зарипова С.Н. Обеспечение безопасного функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов угледобывающих предприятий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Кемерово, 2008, с. 5.
 28. Зырянов А.Г. Техническое перевооружение карьерного транспорта за рубежом. Обзорная информация, 1980, вып. 7, стр. 43.
 29. Камынин Ю.Н., Зильберман Я.С. Автоматизация карьерного транспорта. М., Недра, 1991, 224 с.

30. Кузнецов К.К., Ястребов А.И. и др. Системы разработки и транспорт на карьерах. М.: Недра, 1974, -424 с.
31. Клебанов А.Ф. Бондаренко А.В., Рыбак Л.В. Разработка информационной компьютерной системы управления эксплуатационными затратами на карьерные автосамосвалы в режиме реального времени // Горный информационно-аналитический бюллетень. М., 2003. №3. С.142-145
32. Клебанов А.Ф. «Опыт и перспективы реализации ГИС-проектов в горном деле». Тезисы докладов Международной конференции: «Проблемы безопасности и совершенствования горных работ» (Мельниковские чтения). - Пермь, 1999, с. 95-96.
33. Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. , Рыбак Л.В. Система диспетчеризации большегрузных самосвалов «КАРЬЕР» на разрезе “Черниговский”: структура, функциональность, экономическая эффективность. Горная промышленность, № 1, 2003, с. 52-56.
34. Клебанов А.Ф., Рыльников А.Г. Формирование заданного качества рудопотока посредством автоматизированной системы диспетчеризации горного транспорта // Материалы научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология: развитие способов добычи и безопасности горных работ». Магнитогорск, 2003. С. 81-83.
35. Клебанов А.Ф., Худин М.Ю, Анопов К.В. «Опыт и перспективы внедрения системы Minescape на горнодобывающих предприятиях России». /Сборник научных трудов НГА Украины №7, Том1. Маркшейдерия и геодезия.Разработка месторождений полезных ископаемых. Геоинформационные технологии в горном деле и геологии - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999, с. 23-26.
36. Клебанов А.Ф., Худин М.Ю. «Применение ГИС-технологий в решении информационных и аналитических задач горного производства». /Сборник научных трудов НГА Украины №7, Том1. Маркшейдерия и геодезия.Разработка месторождений полезных ископаемых.

- Геоинформационные технологии в горном деле и геологии - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999, с.27-30.
37. Клебанов Д.А. К вопросу о техническом аудите АСУ транспортными комплексами на горных предприятиях. Автоматизация в промышленности. № 1, 2010, с. 56-62.
38. Клебанов Д.А., Кузнецов И.В., Бигель Н.В. Принципы построения системы дистанционного и автономного управления карьерным самосвалом. Источник: Горная промышленность. Дата публикации: 22 октября 2013
39. Клебанов Д.А., Макеев М.А. Применение технологии высокоточной спутниковой навигации в горнодобывающей отрасли. Недропользование XXI, № 5, 2010, с.64-70.
40. Клебанов Д.А., Макеев М.А. Роботизированные технологии добычи полезных ископаемых рождаются в недрах инновационного центра Сколково. Горная промышленность, №4(104), 2012, с.2-4.
41. Клебанов Д.А., Макеев М.А. Современное состояние и перспективы развития систем управления горно-транспортными комплексами на горнодобывающих предприятиях Украины. Горная промышленность. № 2, 2011, с. 44-47.
42. Ковалев Г.Е. Эксплуатация крупногабаритных шин на карьере Лебединского ГОКа. Горный журнал, 2001, № 8, с. 64-68.
43. Конференция «Машины и оборудование для открытых горных работ» 15 мая 2013, Россия, Москва, Крокус Экспо. Сборник тезисов. С. 5 http://miningworld-russia.primexpo.ru/media/47/tezisi_mashin_13.pdf
44. Кулешов А.А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. М.:Недра, 1980
45. Кузнецов Ю.Н., Дьяченко К.И. Концептуальные положения по повышению обоснованности выбора инновационного оборудования для угледобывающих предприятий // Горная промышленность, 2010, №5, с.73.
46. Кулешов А.А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. М.:Недра, 1980

47. Лель Ю.И., Стенин Ю.В., Колчанов А.Г., Арефьев С.А. Совершенствование параметров и транспортно-эксплуатационных качеств карьерных автодорог. Журнал современных строительных технологий «Красная линия» № 60/апрель 2012. Выпуск Нерудная промышленность. С. 15-16.
48. Лобанов Н.Я., Грачев Ф.Г., Лихтерман С.С. и др. Организация планирования и управления производством в горной промышленности. Учебник для вузов / Под общ. ред. Н.Я.Лобанова. М.: Недра, 1989, 516 с.: ил.
49. Марев П.Н., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.А.Кулешова. СПб.: Наука, 2004, 429 с.
50. Мариев П.Л., Анистратов К.Ю. «БелАЗ» и современные тенденции развития карьерного автотранспорта.
51. Мариев П.Л., Резников Е.Л., Анистратов К.Ю., Домбровский А.Н. Обзор мировых производителей карьерных самосвалов. Тенденции развития. «Горная промышленность» <http://mining-media.ru/>
52. Материалы заседания экспертного совета проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу» в рамках Петербургской технической ярмарки, 13 марта 2012 г. // <http://forum.csr-nw.ru/events/578.html>, http://csr-nw.ru/upload/file_content_481.pdf, http://csr-nw.ru/upload/file_content_482.pdf
53. Материалы межотраслевого журнала навигационных технологий «Вестник ГЛОНАСС», 2012 // <http://vestnik-glonass.ru/>
54. Материалы Компании Parker Bay Mining. Анализ рынка карьерной техники. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://parkerbaymining.com/mining-equipment/earthmoving-equipment.htm> (14.14.2014)
55. Мельников Н.В., Арсентьев А.И. и др. Теория и практика открытых разработок. Изд. 2, М.: Недра, 1979, -636 с.
56. Мельников Н.В., Трубецкой К.Н. Одноковшовые погрузчики на открытых горных разработках. М., Недра, 1971, 154 с.

57. Мельников Н.Н., Козырев А.А., Лукичѳв С.В. Большие глубины – новые технологии. Горный институт КНЦ РАН. Вестник Кольского научного центра РАН, №4, 2013, с. 58 - 66
<http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/vestnik-4-2013.pdf>
58. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. М., 1994, 80 с. (Утверждены Госстроем России, Мин. экономики, Мин. финансов РФ).
59. Научный электронный справочник о горном деле Mining-Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа:[http:// www.mining-technology.com](http://www.mining-technology.com), (10.10.2014)
60. Нечитайло А.А., Блайвас М.С. Экономическая эффективность применения автомобильного транспорта на открытых горных работах. М., Недра, 1978, с. 97
61. Новожилов М.Г., Прокопенко В.И., Селянин В.Г. Использование теории массового обслуживания при анализе совместной работы погрузочно-транспортного оборудования на карьере. Изв. ВУЗов, Горный журнал, 1968, № 2, с. 16-19.
62. Новожилов М.Г., Селянин В.Г., Трен А.Е. Глубокие карьеры. М., Госгортехиздат, 1962, 318 с.
63. Одинцев Н.В. Развитие автоматизации открытых горных работ // Тезисы научно-практической конференции «ТЕХГОРМЕТ - 21 ВЕК», 15-16 ноября 2012 г., с.12.
64. Одинцев Н.В., Клебанов Д.А. Контроль качества дорог на горнодобывающих предприятиях. Источник: ж-л "Горная Промышленность" №3 (85) май-июнь 2009. Дата публикации: 29 июня 2009
65. 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.

66. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С.. Необходим плановый поворот к инновациям. Последовательные меры для «выживания» угольной промышленности России в посткризисный период // Горная промышленность, 2010, №3, с.4.
67. Поляков А.Г. Комплексная система автоматизированного управления производством горнодобывающих предприятий. Горная техника №09 с. 94-98.
68. Потапов В.П. Математическое и информационное моделирование геосистем угольных предприятий. Кемерово, ИУУ СО РАН. 1999, 211 с.
69. Потапов В.П., Власенко Б.В, Клебанов А.Ф., «Вопросы создания системы геотехнического мониторинга». В сборнике трудов Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности», г. Кемерово, 1999г. с. 91-93
70. Потапов В.П., Клебанов А.Ф., Чернядьев Д.А «Комплексный анализ деятельности угольной промышленности на основе современных информационных сетей». В сборнике трудов Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности», г. Кемерово, 1999 г. с. 86-88
71. Потапов М.Г. Исследование технологических схем и параметров оборудования транспорта на открытых горных разработках. Дисс. На соиск. Уч. степ. докт. техн. наук. М., фонды им. А.А.Скочинского., 1971.
72. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://base.garant.ru/70691622/>, (17.11.2014).
73. Программа развития угольной отрасли России до 2030 года. [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://www.rosugol.ru/upload/pdf/Programma_21_06_2014.pdf, свободный (17.05.2013).
74. Руденко В.А., Клебанов А.Ф. Опыт применения бортовых контроллеров на карьерных автосамосвалах БЕЛАЗ // Горная промышленность. 2003. №6.

75. Ржевский В.В. Открытые горные работы. 4.1. Производственные процессы: Учебник для вузов / В.В. Ржевский. М.: Недра, 1985. - 509 с.
76. Роботизированный самосвал БелАЗ признан лучшим промышленным экспонатом на «Иннопроме-2012» в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rudmet.ru/news/521/?language=en>, (20.12.2014).
77. Сайт компании «Союзтехноком». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sotekom.ru/>, – Загл. с экрана. – (15.05.2014).
78. Сайт компании Caterpillar. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [:http://www.cat.com/en_US/support/operations/technology/cat-minestar.html](http://www.cat.com/en_US/support/operations/technology/cat-minestar.html) (10.05.2014).
79. Сайт компании производителя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.komatsu.com/>, (10.05.2014).
80. Сайт компании производителя. Wenco International Mining Systems Ltd. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.wencomine.com. – Загл. с экрана. – (20.12.2014).
81. Сайт производителя систем роботизации транспорта ASI. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.asirobots.com/>, Загл. с экрана. – (15.05.2014).
82. Сайт производителя системы АСУ ГТК Leica Geosystems. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mining.leica-geosystems.com/>, Загл. с экрана. – (15.05.2014).
83. Саменов Г.К. Использование комбинированных вариантов автотранспорта на открытых горных работах. С. 1-2 http://e-lib.kazntu.kz/sites/default/files/articles/samenov_2007_5.pdf
84. Симкин Б.А. Технология и процессы открытых горных работ. М., Недра, 1970, 404 с.
85. Спиваковский А.О. Рудничный транспорт. М., Госгортехиздат, 1959, 237 с.
86. Спиваковский А.О., Потапов М.Г. Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок. М., Недра, 1974, с. 312

87. Спиваковский А.О., Потапов М.Г., Андреев А.В. Транспорт на открытых разработках. М., Госгортехиздат, 1982, с.361
88. Справочник. Электронная горная энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/k/krepost/> (20.11.2014).
89. Справочник. Открытые горные работы. М.: Горное бюро, 1994,- 590 с.
90. Темкин И.О. Интеллектуальные системы управления горнотранспортными комплексами: современное состояние, задачи и механизмы решения / И.О.Темкин, Д.А. Клебанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Труды международного симпозиума “Неделя Горняка” (Москва, 27-31 января 2014 г.).– 2014 - Отдельный выпуск №1 – С. 257-266.
91. Теория и практика открытых разработок. Под редакцией Н.В.Мельникова. М., Недра, 1979, с.207
92. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Под редакцией М.Г.Новожилова. М., Недра, 1976, 234 с.
93. Трубецкой К. Н., Клебанов А. Ф., А.Д.Рубан «Принципы построения и основные этапы научно-технической реализации проекта «Интеллектуальный карьер». II международная научно-практическая конференция «Техгормет-21 век». «Карьерная техника для открытых горных работ: новые разработки и эффективные решения».
94. Трубецкой К.Н. Основы создания и научно-технические этапы реализации роботизированной системы грузоперевозок на действующих горных предприятиях / К.Н. Трубецкой, Д.А. Клебанов, С.В. Ясюченя // Горный журнал – 2013 - №10 - С. 67-73.
95. Трубецкой К.Н. Технологии управления горными работами в карьерах: современное состояние и перспективы развития // Тезисы научно-практической конференции «ТЕХГОРМЕТ - 21 ВЕК», 15-16 ноября 2012 г., с. 7-8.
96. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Основы горного дела. Учебник / Под ред. акад. РАН К.Н.Трубецкого. М.: Академический проект, 2010, с. 231

97. Трубецкой К.Н., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. “Геоинформационные системы в горном деле”, электронный журнал Вестник ОГГГГН РАН, №3(5) 1998.
98. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Современные системы управления горно-транспортными комплексами, СПб: Наука, 2007, 306 с.
99. Хохряков В.С., Сорокин Л.А. Экономическая оценка карьерного автотранспорта с учетом фактора времени. Горный журнал, 1969, № 5, с. 31-39.
100. C.Brown. Autonomous Vehicle Technology in Mining. Autonomous Mining, January, 2012, p. 30-32.
101. Miller J.E. La mise au point de dispositifs de pilotage automatique de camions de carieres. Industrie Mineral, 1982, v. 64, p. 3-6.
102. S.Brain. Autonomous and Remote Operation Technologies in Mining. February, 2012, BAEconomics Ptg.Ltd.
103. Sasson M.p. Trolley assist, computer dispatching: new technologies offer potential for significant reduction in mining cost. – Engineering and Mining Journal, 1984, v.185, № 6, p.74-80.
104. Tire maintenance and reducing costs. International Mining, January 1985, p.16-20
105. Tu J.N., Hueka V.S. Analysis of open truck haulage system by use of a computer model. CiM Bulletin, July, 1985, p. 53-59.
106. Upper Peninsula section AIME annual meeting skillings Mining Review, 1983, v. 72 , № 22, p. 8-10.