

Научная статья

УДК 622, 681.5

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-19-27

Бархатов Сергей Павлович, студент, Устинова Яна Вадимовна*, доцент, Семенов Александр Сергеевич, доцент

Санкт-Петербургский Горный университет

*E-mail: yana.kuskova@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ САМОСВАЛОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ



Информация о статье

Поступила:

06 декабря 2021 г.

Одобрена после
рецензирования:

20 января 2022 г.

Принята к печати:

15 февраля 2022 г.

Ключевые слова:

горное дело, горные машины, самосвалы, БЕЛАЗ, роботизация, автоматизация технологических процессов, открытые горные работы, цифровизация.

Аннотация.

В данном проекте рассмотрены роботизированные самосвалы, созданные на базе самосвалов БЕЛАЗ. Актуальной проблемой всех предприятий, занимающихся перевозкой инертных материалов, – нехватка кадров. Современные профессиональные учебные заведения, помимо отсутствия необходимой технической оснащенности, сталкиваются с непреодолимым препятствием в виде законодательства, не позволяющего посадить учеников водителя в кабину. Чисто теоретическая подготовка водителей не соответствует требованиям предприятия. Существуют и менее объективные причины, по которым водители неохотно устраиваются на перевозку горной массы. В работе затрагиваются эти и другие проблемы, приводящие компании горнодобывающей отрасли к необходимости роботизации своих производств. Особенное внимание уделяется повышенной безопасности производственного процесса, которая достигается наилучшим образом только при полном отсутствии людей. Возможным решением представляется использование полностью автономных самосвалов. Подробно рассмотрены части роботизированного комплекса пятого уровня автоматизации, узлы и агрегаты, используемое программное обеспечение. Сделаны выводы по возможной экономической выгоде для предприятия от использования роботизированных самосвалов и об увеличении безопасности производств.

Для цитирования: Бархатов С.П., Устинова Я.В., Семенов А.С. Исследование возможностей применения роботизированных самосвалов в горнодобывающей отрасли // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 1 (159). С. 19-27. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-19-27

Актуальность. В настоящее время многие компании, занимающиеся перевозкой инертных материалов, сталкиваются с проблемой кадров. С одной стороны, люди неохотно идут работать водителями грузовиков в силу самых разнообразных причин, с другой – разрушена советская система подготовки профессиональных водителей и не создана новая. Профессиональные учебные заведения не в состоянии обеспечить обучающихся реальной техникой для прохождения обучения из-за высокой цены покупки или аренды такого оборудования. По требованиям безопасности в кабине водителя ученикам находиться запрещено, поэтому практическое обучение превратилось в теоретическое, а обучение на симуляторах не смогло заменить реальное управление самосвалами.

Целью работы является исследование возможности применения роботизированных самосвалов в

горнодобывающей отрасли, детальное рассмотрение их механизмов и особенностей программного обеспечения, а также условий их эксплуатации.

К задачам работы относится изучение возможности применения роботизированных самосвалов в горной промышленности; изучение и анализ документов НИОКР и ОКР, предоставленных ГК «Трасса» и ГК «ВИСТ»; практические рекомендации по использованию роботизированного комплекса пятого уровня автоматизации, узлов и агрегатов, а также разработка и описание программного обеспечения для серийных самосвалов БЕЛАЗ.

Введение

Предприятия горнодобывающей отрасли Российской Федерации зачастую находятся в труднодоступных и малонаселенных регионах (Красноярский край, Республика Саха, Ханты-Мансийский авто-

номный округ, Республика Карелия и пр.) Привыкшие к современным комфортным нормам проживания люди не готовы к таким испытаниям. Ситуацию усугубляют тяжелые климатические условия данных районов. На предприятиях, находящихся за Полярным кругом и около, существует понятие «полярный день» и «полярная ночь», что тяжело переносится работниками из других регионов. Горнодобывающие предприятия функционируют 24 часа в сутки и 365 дней в году, поэтому сотрудники работают вахтовым способом, что на 2 или 4 месяца отрывает их от семьи, детей, не позволяет посещать объекты культуры, спорта, проводить привычным образом свой досуг. Есть и проблемы этического характера: отказ от тяжелого физического труда, «немодность» профессии – эти затруднения носят характер общечеловеческих, с которыми сталкивается вся современная цивилизация.

Основная часть

Одним из решений множества перечисленных задач является роботизация техники, полностью исключая потребность в водителях и, помимо этого, улучшающая многие показатели.

Родоначальником роботизации в сфере транспорта в России является группа компаний «ВИСТ» [1], с 2020 года являющаяся составной частью группы компаний «Цифра».

Компания «ВИСТ» разрабатывает независимые решения для горной отрасли и промышленности с 80-х годов XX века. Одним из результатов данного поиска стало создание полностью автономных самосвалов БЕЛАЗ (Белорусский автомобильный завод, Республика Беларусь, Жодино), испытания которых начались в 2014 году. Автономные самосвалы могут быть как конвейерного производства на базе серийных самосвалов БЕЛАЗ, так и в виде переоборудованных моделей [2,3,4]. Благодаря множеству датчиков, лидаров (лазерных дальнометров оптического диапазона), радаров и видеокамер дистанционного присутствия машина может самостоятельно двигаться по заданному маршруту, минуя препятствия, и выполнять различные заложенные оператором задачи. Один оператор может обслуживать около 10 самосвалов одновременно. Это составляет экономию для предприятия в виде снижения фонда оплаты труда [5], топлива, оплаты проживания и питания сотрудников, экономию ресурса техники, увеличивает производительность в единицу времени. Можно подытожить плюсы использования подобных машин:

- на 15% быстрее, чем водитель, ездят роботизированные самосвалы. Средняя скорость беспилотного самосвала = скорость самого эффективного водителя.
- 45-90 минут – увеличение рабочего времени работа за счет сокращения «человеческих» простоев: обед, пересменки и прочее.
- 60-75% экономия на ФОТ (Фонд оплаты труда): 1 оператор может заменить работу 6-10 водителей самосвалов.
- На 10-15% меньше топлива тратит роботизированный самосвал за счет оптимального стиля вождения.

- Увеличение срока службы оборудования на 15%.
- Повышение производительности на 15-34%.
- Сокращение операционных расходов на 10-30%.

Как говорилось выше, горнодобывающая техника [3] оснащается системами автономного управления, способными выполнять свои функции полностью без участия человека.

Программно-аппаратный комплекс автосамосвалов позволяет в автоматическом режиме без необходимости присутствия водителя выполнять автономное управление автосамосвалом, включая:

- автоматическое движение по заданному маршруту;
- автоматическую погрузку и разгрузку;
- возможность дистанционного управления самосвалом;
- сбор телеметрических данных (фиксацию перегрузов, времени, скорости и расстояния движения с перегрузом, определение загрузки, уровня топлива, контроль давления и температуры в шинах и другие функции).

Функционал программного обеспечения осуществляет оперативное управление горной техникой [6-8] в автоматическом режиме, планирование и управление ремонтами и техническим обслуживанием по реальной наработке узлов, гарантирует работу службы безопасности предприятия.

Одной из составных частей программного обеспечения системы является база данных. Использование развитой базы данных позволяет работать с аналитическими формами, использовать значительные объемы данных. Также это позволяет достаточно быстро разрабатывать дополнительные модули и функциональность для оперативной работы диспетчера и других служб. База данных является составной частью именно системы диспетчеризации, а не только системы отчетности. Внутренним элементом, обеспечивающим работу диспетчеризации, является база данных Oracle.

Бортовое программное обеспечение построено таким образом, что никакая информация не может потеряться даже при временном отсутствии связи с сервером: данные сохраняются в памяти контроллера или компьютера и сразу после восстановления связи передаются на сервер.

Средства управления работой горнотранспортного комплекса предназначены для повышения производительности горных работ [9-11] и обеспечения плановых качественных характеристик добываемого полезного ископаемого.

Средства оперативного управления включают ряд функций [11-13], которые представлены ниже.

Программное обеспечение системы позволяет создавать различные алгоритмы контроля работы оборудования [13-15]. При нарушениях работы на рабочем месте диспетчера или соответствующего ответственного лица появляется всплывающее сообщение.

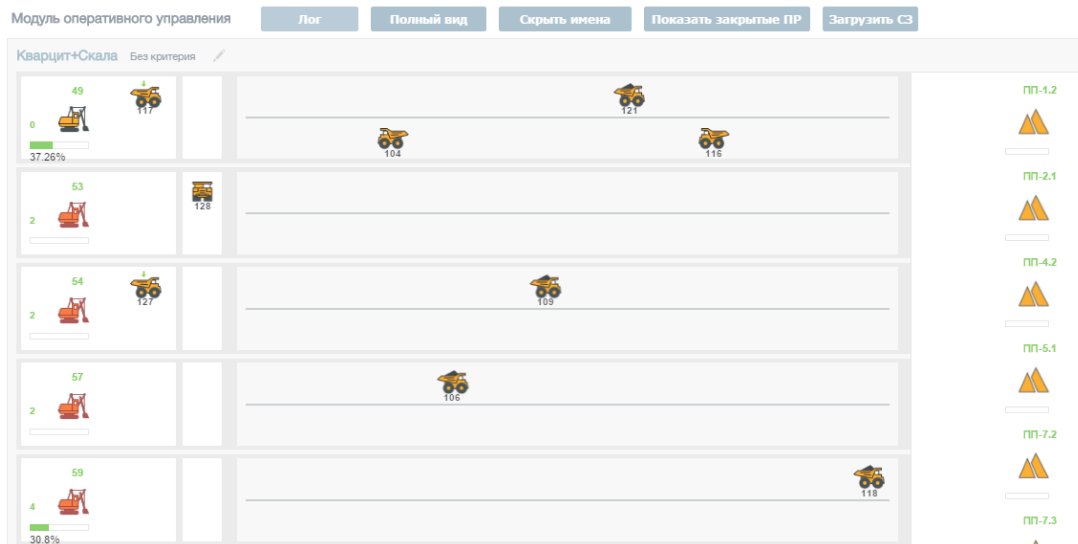


Рис. 1. Линейная схема движения
Fig.1. Linear movement pattern

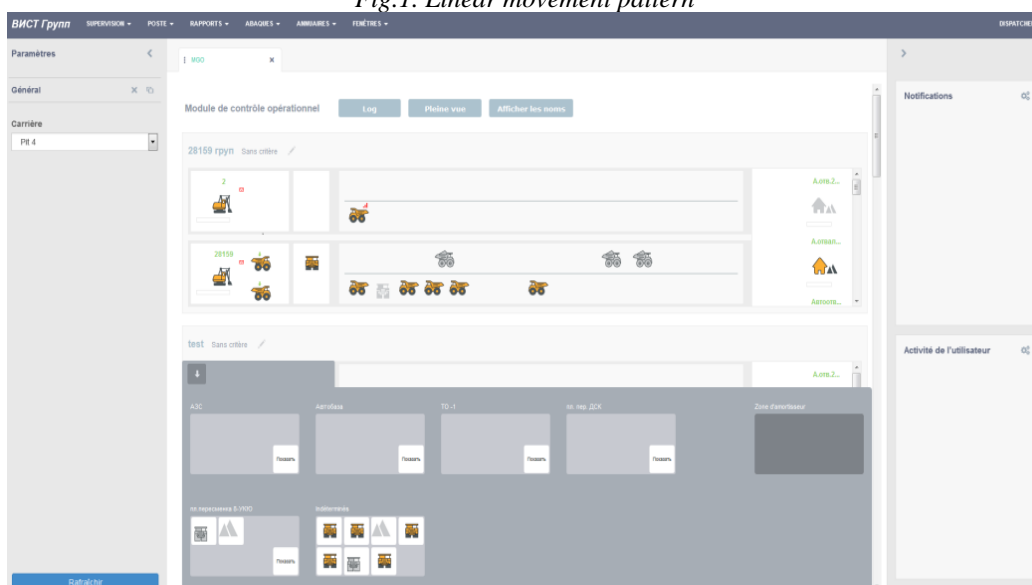


Рис. 2. Оконная форма модуля оперативного планирования
Fig.2. Window form of the operational planning module

Сравнение плановых показателей и фактического исполнения плана на текущий момент времени обеспечивается визуализацией планового и реального графика выполнения работ. На диаграмме в режиме реального времени легко отслеживаются объекты с детализацией информации по текущему состоянию исполнения плановых показателей, в том числе в режиме сравнения с показателями сменного задания.

Используются различные типы карт, осуществляя автоматическое обновление карты из геологического ПО (программного обеспечения) – это позволяет картографический модуль.

В картографическом модуле системы в зависимости от прав пользователя доступна функция редактирования, позволяющая пользователям создавать произвольные статические объекты (здания, пункты назначения, зоны, маршруты и др.), а также редактирования и перемещения этих объектов на

карте. Существует также возможность связывать сообщения системы с нахождением транспортных средств вблизи этих зон.

На карте настраивается отображение событий (заправки, сливы, остановки, выходы за зону и т.п.) и направление движения, история передвижений за произвольный период.

Для визуализации и контроля исполнения сменного задания используется линейная схема движения (Рис. 1), которая позволяет в режиме реального времени отслеживать текущее распределение автосамосвалов по экскаваторам, статус каждого объекта (загрузка, простой, скорость и т.п.), прогноз времени прибытия на погрузку/разгрузку, текущие выполненные объемы, состояние складов и т.д.

Модуль оперативного управления представляет собой оконную форму (Рис. 2), в которой в графической форме отображается основная информация, необходимая диспетчеру в начале и в течение смены для управления карьером. В частности, отображается текущее распределение автосамосвалов по

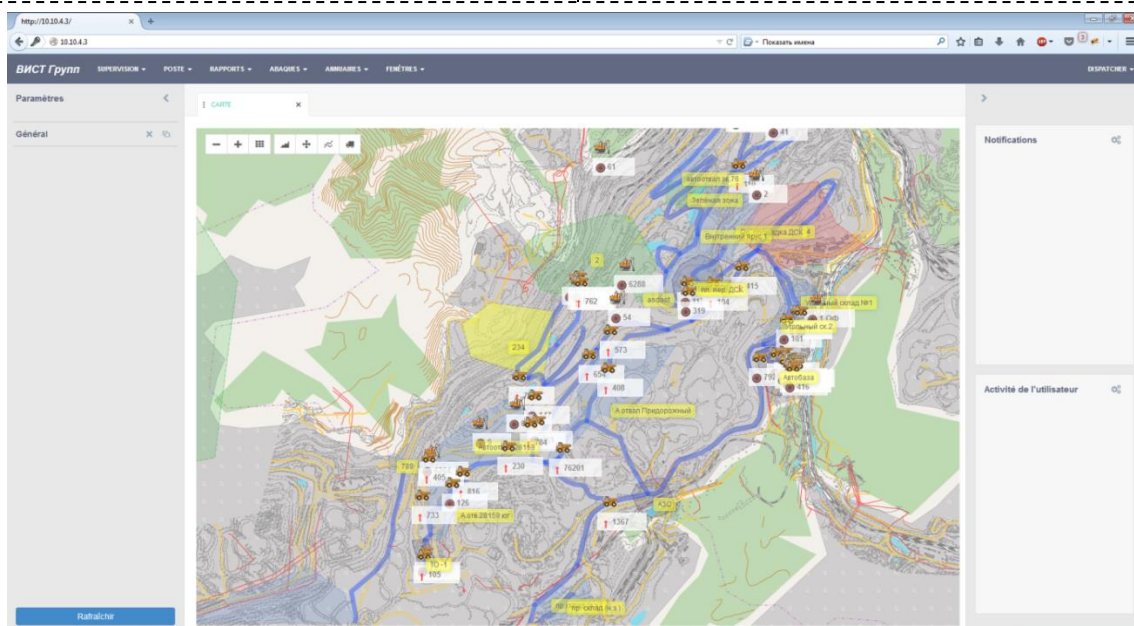


Рис. 3. Граф дорог
Fig. 3. Road graph

маршрутам, текущие характеристики и объемы, например руды, поданной на фабрику и на склад, состояние техники и другие данные. Из главного окна вызывается ряд вспомогательных окон, отображающих второстепенную информацию, например, вызывается окно модуля контроля качества, где показывается детальная информация по складу.

Функции модуля:

- отображение актуальных заданий для автосамосвалов;
- задание групп маршрутов для автосамосвалов;
- задание варианта работы для маршрутов/групп маршрутов;
- распределение автосамосвалов по маршрутам/группам маршрутов в ручном режиме;
- распределение автосамосвалов по маршрутам/группам маршрутов с помощью модуля статической оптимизации.

Для задачи оптимизационных групп предназначен модуль сменного планирования. В состав группы входят экскаваторы, пункты разгрузки и автосамосвалы. В начале смены диспетчер может указать для группы режим ее работы. Режимы разделяются по условиям использования оптимизации:

- 1) без использования оптимизации;
- 2) использование оптимизации в заданной конфигурации.

Модуль учета простоев позволяет полностью исключить человеческий фактор при учете времени простоев. Диспетчер может лишь изменить классификацию некоторых простоев, но не может внести коррективы в зафиксированную автоматически их длительность.

Модуль планирования технического обслуживания и ремонтов позволяет планировать ТО и ремонты, выстраивая цепочки периодичности техни-

ческих воздействий на технические объекты по моточасам, пробегу или времени. Расчетное время проведения ТО можно скорректировать вручную для оптимальной загрузки ремонтных бригад.

Модуль контроля качества дорог позволяет вести мониторинг качества дорог в автоматическом режиме на основе датчиков бортового оборудования:

- датчики давления в подвесках;
- акселерометр;
- данные от навигационной системы;
- датчик угла наклона.

В системе для работы модуля оптимизации и автоматической диспетчеризации создается граф дорог (Рис. 3), который используется для модуля контроля качества дорог. Каждый участок дороги также автоматически разбивается на более мелкие сегменты для более точного определения проблемных участков.

Благодаря использованию высокоточной навигации на автосамосвалах модуль в автоматическом режиме позволяет строить профиль дороги.

Для учета работы шин необходимо установить на автосамосвалы систему учета работы шин, обеспечивающую непрерывный контроль давления в шинах, отображение текущего давления водителю, сигнализацию о критичном давлении.

Также необходимо установить модуль учета работы шин, который обеспечивает решение следующих задач:

- хранение информации о характеристиках шин, подлежащих учету, в том числе об их эксплуатационных ресурсах;
- ведение истории по каждой шине с начала эксплуатации и до списания, в том числе перестановки с одного борта на другой, отправка на склад;
- расчет текущего пробега каждой шины на основе данных о пробеге самосвалов;

- отображение текущего состояния каждой шины: машина, на которой установлена (или склад), пробег на данный момент и т.д.;

- выдача рекомендаций о дате исчерпания эксплуатационного ресурса на основе статистики о пробеге шины;

- отображение итоговой информации за период о работе шин.

Основной задачей модуля управления погрузочно-доставочным комплексом является контроль над работой автоматизированных автосамосвалов (без участия водителей) при движении по заданным маршрутам в режиме автономного управления, в том числе погрузку и разгрузку. С помощью модуля система передает в бортовые компьютеры автосамосвалов данные о маршруте движения, конечную точку движения, текущую задачу, информацию о технике, находящейся в зоне работы, и другую необходимую информацию.

В состав модуля также входит механизм дистанционного управления автосамосвалами. Управление осуществляется диспетчером или оператором дистанционно управляемой техники из центра управления на всем маршруте движения.

Система интегрирована с программным комплексом K-MINE (элемент системы автоматизации, разработанный компанией «ВИСТ»), осуществляющим геологическое моделирование, маркшейдерские съемки и планирование горных работ. Также возможна интеграция с другими программными комплексами, установленными на предприятие в настоящее время.

Базовые функции модуля:

- контроль одновременного движения нескольких автоматизированных автосамосвалов по заранее заданным маршрутам в режиме автономного управления с возможностью дистанционного управления из центра управления на всем маршруте движения;

- контроль движения и состояния автоматизированных автосамосвалов, а также автосамосвалов, не оснащенных оборудованием автономного/дистанционного управления и вспомогательной техники с отображением на карте, построением необходимых отчетов и хранением истории движения и событий на централизованном сервере;

- обеспечение заезда под загрузку и под разгрузку в режимах автономного и дистанционного управления;

- обеспечение взаимодействия с персоналом для заправки и обслуживания автоматизированной техники в специализированной зоне;

- контроль остановок и превышений скорости;
- автоматическое определение рейсов и маршрутов автосамосвалов;

- удаленный контроль состояния бортового оборудования для автономного/дистанционного управления и возможность подключения к существующим системам диагностики автосамосвала;

- информирование диспетчера о возникновении аварийной ситуации;

- экспорт отчетов и отправка по e-mail;

- импорт карты предприятия из маркшейдерско-геологических и маркшейдерских систем.

Для успешной реализации системы передачи данных и безопасности необходима установка оборудования инфраструктуры, которое включает в себя:

- Оборудование беспроводной передачи данных;
- Системы контроля доступа для техники и персонала;

- Стационарные видеокамеры;
- Ограждение зон работы автономной техники;
- Персональные идентификационные метки для персонала;

В качестве технологии беспроводной сети передачи данных может рассматриваться несколько технологий, и окончательный выбор оптимальной технологии может быть осуществлен только после проведения инженерного обследования предприятия.

Одним из вариантов построения сети беспроводной передачи данных является использование стационарных точек доступа на основе технологии MESH и мостов РТР (PointToPoint) и РМР (PointMultiPoint), что обеспечит стабильную передачу большого потока данных на высокой скорости, однако потребует установки дополнительного оборудования, мачт и организации сети питания.

Для ограничения доступа в зоны работы автономной и дистанционно управляемой техники требуется установка оборудования контроля доступа для техники и персонала. Для техники, оснащенной оборудованием мониторинга, открытие доступа в зону работ будет осуществляться автоматически. Для техники, не имеющей оборудование мониторинга, потребуется установка идентификационных меток при въезде в зону работ, это требуется для эффективного взаимодействия вспомогательной техники с автономной техникой.

Погрузочно-доставочный комплекс предназначен для контроля работы погрузочно-доставочной техники и управления автосамосвалами в автономном режиме (без участия водителей). В погрузочно-доставочный комплекс входят роботизированные автосамосвалы и погрузочная техника.

На автосамосвалы устанавливается бортовое оборудование автономного управления, которое обеспечивает движение и выполнение других технологических операций автосамосвалом без участия водителя и необходимости его присутствия в кабине автосамосвала.

В состав бортового оборудования роботизированного автомобиля (Рис.4) входят следующие элементы:

- 1) Исполнительная подсистема;
- 2) Интеллектуальный модуль;
- 3) Подсистема навигации;
- 4) Подсистема передачи данных;
- 5) Подсистема дистанционного присутствия;
- 6) Подсистема сканирования окружения;
- 7) Подсистема экстренной остановки.

Автосамосвалы в режиме дистанционного управления подъезжают в точку загрузки, где экскаватор

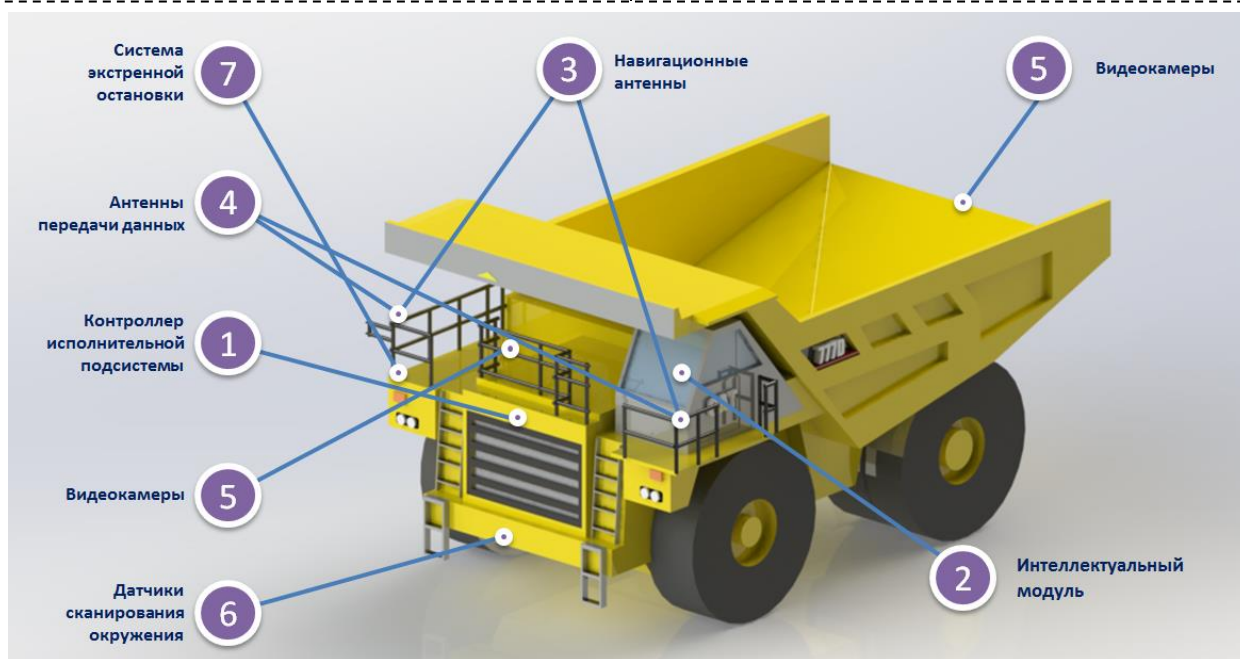


Рис. 4. Расположение оборудования на автосамосвалах
Fig. 4. Location of equipment on dump trucks

под управлением машиниста загружает автосамосвал, после чего автосамосвал движется в точку разгрузки в бункере. Последовательность работы состоит из следующих операций:

- 1) Диспетчер определяет, к какому экскаватору следует ехать, при условии одновременной работы экскаваторов на одном или на разных забоях;
- 2) Автосамосвал в автономном режиме движется в зону загрузки;
- 3) При въезде в зону загрузки бортовая система автосамосвала переключается в режим автоматической прокладки траектории в конечную точку. Точка загрузки, где должен остановиться автосамосвал, определяется бортовой системой автоматически. Данные, по которым определяется конечная точка, получаются исходя из данных работы экскаватора;
- 4) После того как автосамосвал остановился в точке, бортовая система высылает в бортовую систему экскаватора сигнал о готовности;
- 5) Во время загрузки автосамосвала его бортовая система определяет вес груза в кузове и когда он достигнет значения, соответствующего полной загрузке, система отправляет сигнал о завершении загрузки в бортовую систему экскаватора;
- 6) Машинист экскаватора подтверждает окончание загрузки;
- 7) Автосамосвал выезжает из зоны загрузки и движется по маршруту в зону разгрузки.

Маршрут движения до бункера определяется системой автоматически или может быть однозначно определен диспетчером. В целом последовательность работы состоит из следующих операций:

- 1) При движении система учитывает множество дорожных факторов для того, чтобы выбрать оптимальный маршрут и режим движения (скоростной режим, минимальный радиус поворота, скорость прохождения поворотов и т.д.);

- 2) Движение по маршруту производится в автономном режиме управления в зону разгрузки;

- 3) В процессе движения система отслеживает позицию самосвала и другой техники, как автономной, так и не автономной, и передает эту информацию в бортовую систему самосвала. Полученная информация необходима для корректировки движения при таких маневрах, как проезд перекрестков, железнодорожных путей, мест сужения дороги и т.д.

Разгрузка автосамосвалов производится в бункере. Система автоматически определяет текущее место разгрузки. В целом последовательность работы состоит из следующих операций:

- 1) Автосамосвал въезжает в зону разгрузки;
- 2) Система автоматически определяет текущее место разгрузки и передает его в бортовую систему автосамосвала;
- 3) Бортовая система автосамосвала автоматически строит траекторию движения для выхода в конечную точку;
- 4) После заезда в точку разгрузки автосамосвал разгружается;
- 5) Автосамосвал выезжает из зоны разгрузки и движется по маршруту в зону загрузки.

В качестве места стоянки автосамосвалов, а также для их технического обслуживания и ремонта необходима организация специально огороженной площадки, оборудованной системами безопасности и контроля допуска. Автосамосвалы заезжают в зону через автоматические системы контроля допуска.

Проблема наличия квалифицированных кадров на должность водителя вынудила компании искать альтернативные пути. Выше был рассмотрен один из вариантов решения данной задачи. Мало того, что эта замена нивелирует дефицит кадров, но и еще существенно увеличивает экономические показатели,

позволяя компании быстрее и качественнее перевозить инертные материалы. Также этот метод является более безопасным и точным, так как практически полностью исключает человеческий фактор. С большой вероятностью можно полагать, что в будущем многие компании прибегнут к этому решению проблемы и полностью избавятся от необходимости нанимать водителей самосвалов.

Выводы

В статье определены основные возможности применения роботизированных самосвалов в горной промышленности; произведен анализ документов НИОКР и ОКР, предоставленных ГК «Трасса» и ГК «ВИСТ», приведены практические рекомендации по использованию роботизированного комплекса высокого уровня автоматизации, а также описано разработанное программное обеспечение для серийных самосвалов БЕЛАЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Документы о научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках, предоставленные ГК «Трасса» и ГК «ВИСТ».
- 2) Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб.: Наука, 2004. 429 с.
- 3) Смоляков В. И. Карьерные самосвалы БЕЛАЗ в ОАО ХК «Кузбассразрезуголь». // Горная промышленность. 2002. №6. С. 44-46.
- 4) Трубецкой К. Н., Рыльникова М. В., Клебанов Д. А., Макеев М. А. Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техникой. // Горная промышленность. 2017. №5. С. 27.
- 5) Kruk M. N., Semenov A. S. Project Risk Analysis and Management Decision-Making in Determining the Parameters of Ore Quarries. // International Journal of Control Theory and Applications. 2017. Vol. 10 № 12. P. 451-458.
- 6) Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Information and diagnostic tools of objective control as means to improve performance of mining machines. 10th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. 2017. Vol. 177. № 1. Article number 012045. doi: 10.1088/1757-899X/177/1/012045.
- 7) Kuskova Ya. V., Erochina O. O., Simakov A. S. Problematics and perspectives of the development of automatic control systems for concentration tables using computer simulation. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1384. 012023. doi: 10.1088/1742-6596/1384/1/012023.
- 8) Koptev V. Y., Kopteva A. V. Mining business transportation system structure optimization. 2016. Vol. 11. P. 7402-7405.
- 9) Дубинкин Д. М., Аксенов В. В., Тюленев М. А., Марков С. О. Влияние горнотехнических факторов на производительность беспилотных карьерных автосамосвалов. // Техника и технология горного дела. 2020. №4. С. 42-69.
- 10) Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I., Ivanova P. I. Relationship of dynamic properties of mine excavator hoisting mechanism versus design parameters of operating equipment. // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1118. Issue 1. Article 012054. doi: 10.1088/1742-6596/1118/1/012054.
- 11) Стенин Д. В., Фурман А. С., Ашихмин В. Е. Исследование режима работы экскаваторно-автомобильного комплекса на открытых разработках // Вестник КузГТУ. 2007. №5, С. 96-98.
- 12) Coetzee C. J. Calibration of the discrete element method Powder Technology. 2017. P. 104-142.
- 13) Vasilyeva N. V., Koteleva N. I., Fedorova E. R. Real-time control data wrangling for development of mathematical control models of technological processes. Journal of Physics: Conference Series 1015(3). 2018.
- 14) Boikov A. V., Savelev R. V., Payor V. A. DEM Calibration Approach: Random Forest Journal of Physics Conf. Series 1118. 2018.
- 15) Boschert S. and Rosen R. Digital twin – the simulation aspect Mechatronic Futures. 2016. P. 59-74.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Об авторах:

Бархатов Сергей Павлович, студент гр. ТО-19, Санкт-Петербургский Горный университет (199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2), velvetovs@yandex.ru

Устинова Яна Вадимовна, доцент кафедры АТПП, Санкт-Петербургский Горный университет (199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2), yana.kuskova@gmail.com

Семенов Александр Сергеевич, доцент, Санкт-Петербургский Горный университет (199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2), loader3@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Бархатов С.П. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Липницкий Н.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Семенов А.С. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-19-27

Sergey P. Barkhatov, student, **Yana V. Ustinova***, Associate Professor, **Alexander S.Semenov**, Associate Professor

St. Petersburg Mining University

*E-mail: yana.kuskova@gmail.com

STUDYING THE POSSIBILITIES OF USING ROBOTIC DUMP TRUCKS IN THE MINING INDUSTRY



Article info

Received:

06 December 2021

Accepted for publication:

20 January 2022

Accepted:

15 February 2022

Keywords: Mining, Mining machines, Potash Field, Sylvinit, Development System, Underground Development, Inter Ed

Abstract.

This article proposes a step-by-step algorithm for selecting the minimum permissible (optimal) width of the interpillar pillar when mining the IV-th sylvinit layer when applying the technological scheme of layer excavation of the Third Potash horizon with sequential mining of layers in areas with a stable direct roof and possible re-use of the transport drifts of the faces. The development system scheme is proposed. The technological schemes of preparation and mining of potassium formations for the Starobinskoye deposit are schemes that include the maximum possible extraction of reserves from the subsurface, solving simultaneously the problem of dynamic roof collapse, ensuring a minimum amount of mining preparation work with good stability of preparatory workings and face space, high rates of ore quality and productivity of mechanized complexes.

For citation: Barkhatov S.P., Ustinova Ya.V., Semenov A.S. Studying the possibilities of using robotic dump trucks in the mining industry. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 1(159):19-27 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-19-27

REFERENCES

1. Documents on research and development, provided by GC "Trassa" and GC "VISTA".
2. Mariev P. L., Kuleshov A. A., Egorov A. N., Zyryanov I. V. Kar'ernyj avtotransport: sostoya-nie i perspektivy. SPb. : Nauka, 2004. 429 s.
3. Smolyakov V. I. Kar'ernye samosvaly Be-lAZ v OAO HK «Kuzbassrazrezugol'». // Gornaya promyshlennost'. 2002. №6. S. 44-46.
4. Trubeckoj K. N., Ryl'nikova M. V., Klebanov D. A., Makeev M. A. Nauchno-tehnicheskie voprosy izmeneniya organizacii upravleniya otkrytymi gornymi rabotami s primeneniem robotizirovan-noj kar'ernoj tekhnikoj. // Gornaya promyshlennost'. 2017. №5. S. 27.
5. Kruk M. N., Semenov A. S. Project Risk Analysis and Management Decision-Making in Determining

the Parameters of Ore Quarries. // International Journal of Control Theory and Applications. 2017. Vol. 10 № 12. P. 451-458.

6. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Information and diagnostic tools of objective control as means to improve performance of mining machines. 10th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. 2017. Vol. 177. № 1. Article number 012045. doi: 10.1088/1757-899X/177/1/012045.

7. Kuskova Ya. V., Erochina O. O., Simakov A. S. Problematics and perspectives of the development of automatic control systems for concentration tables using computer simulation. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1384. 012023. doi: 10.1088/1742-6596/1384/1/01202.

8. Koptev V. Y., Kopteva A. V. Mining business transportation system structure optimization. 2016. Vol. 11. P. 7402-7405.

9. Dubinkin D. M., Aksenov V. V., Tyulenev M. A., Markov S. O. Vliyanie gornotekhnicheskikh faktorov na proizvoditel'nost' bespilotnykh kar'er-nykh avtosamosvalov. // Tekhnika i tekhnologiya gor-nogo dela. 2020. №4. S. 42-69.

10. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I., Ivanova P. I. Relationship of dynamic properties of mine excavator hoisting mechanism versus design parameters of operating equipment. // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1118. Issue 1. Article 012054. doi: 10.1088/1742-6596/1118/1/012054.

11. Stenin D. V., Furman A. S., Ashihmin V. E. Issledovanie rezhima raboty ekskavatorno-avtomobil'nogo kompleksa na otkrytykh razrabotkakh // Vestnik KuzGTU. 2007. №5, S. 96-98.

12. Coetsee C. J. Calibration of the discrete element method Powder Technology. 2017. P. 104-142.

13. Vasilyeva N. V., Koteleva N. I., Fedorova E. R. Real-time control data wrangling for development of mathematical control models of technological processes. Journal of Physics: Conference Series 1015(3). 2018.

14. Boikov A. V., Savelev R. V., Payor V. A. DEM Calibration Approach: Random Forest Journal of Physics Conf. Series 1118. 2018.

15. Boschert S. and Rosen R. Digital twin – the simulation aspect Mechatronic Futures. 2016. P. 59-74.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Sergey P. Barkhatov, student, St. Petersburg Mining University, (199106, Russia, St. Petersburg, 21 line V.O., 2), velvetovs@yandex.ru

Yana V. Ustinova, Associate Professor of the Department of Automation of Technological Processes and Production, St. Petersburg Mining University, (199106, Russia, St. Petersburg, 21 line V.O., 2), yana.kuskova@gmail.com

Alexander S. Semenov, Associate Professor of the Department of Mining Operations, St. Petersburg Mining University, (199106, Russia, St. Petersburg, 21 line V.O., 2), loader3@yandex.ru

Contribution of the authors:

Sergey P. Barkhatov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Yana V. Ustinova – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Alexander S. Semenov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.