

Научная статья

УДК 7.021.23 : 625.7 + 62-529

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-41-49

Попинако Ярослав Владимирович^{1,2*}, Ефременкова Маргарита Витальевна¹, Никитенко Михаил Сергеевич^{1,2}, Худоногов Данила Юрьевич¹¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*e-mail: popinakoya@gmail.com

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАСШТАБНОГО МАТЕРИАЛЬНОГО МАКЕТА АВТОДОРОГИ ДЛЯ ОТЛАДКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ АВТОНОМНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО ШАССИ**Информация о статье**

Поступила:

25 ноября 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 ноября 2023 г.

Принята к печати:

01 декабря 2023 г.

Опубликована:

21 декабря 2023 г.

Ключевые слова:

автономное транспортное средство, роботизированное шасси, система управления, параметры карьерной автодороги, машинное зрение, отладка, тестирование, макетирование

Аннотация.

В статье рассмотрены основные подходы к управлению автономными транспортными средствами в горнодобывающей отрасли. Описан альтернативный подход к управлению автономным транспортным средством, основанный на технологии машинного зрения, дополненной световыми маркерами. На основе анализа нормативной документации предложен способ расчета параметров прототипируемой трассы в зависимости от линейных и угловых параметров применяемой модели шасси. Обоснованы и определены основные параметры масштабного материального макета автодороги для отладки и тестирования автономного роботизированного шасси. Определены наиболее значимые параметры для достижения задач исследования. Представлено описание разработанной трассы на основе расчетных параметров, включающей в свой состав следующие участки маневра: регулируемый продольный подъем, прямолинейное движение до регулируемого продольного уклона, регулируемый продольный уклон, участки поворота, заезд на регулируемый поперечный уклон, регулируемый поперечный уклон, съезд с регулируемого поперечного уклона. Определена длина участков маневров и их количество на закрытом участке тестирования. Способ расчета позволяет определить требования к разрабатываемым макетам трасс, которые возможно использовать в задачах прототипирования систем управления моделями транспортных средств, проводить натурные испытания, тестирование и отладку.

Для цитирования: Попинако Я.В., Ефременкова М.В., Никитенко М.С., Худоногов Д.Ю. Обоснование параметров масштабного материального макета автодороги для отладки и тестирования автономного роботизированного шасси // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 6 (170). С. 41-49. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-41-49, EDN: OAYERE

Согласно индексу физического объема ВВП и валовой добавленной стоимости по отраслям экономики, развитие горнодобывающей отрасли в России является одним из ключевых бизнес-процессов в валовом внутреннем продукте страны. С каждым годом оборот добычи полезных ископаемых увеличивается, чему способствует модернизация и

автоматизация технологических процессов производства. В настоящее время добыча полезных ископаемых ведется преимущественно открытым способом [1], где откатка полезных ископаемых, пустых пород и вспомогательных грузов осуществляется преимущественно автомобильным транспортом по карьерным автодорогам. При карьерных перевозках

автомобильный транспорт имеет ряд достоинств по сравнению с железнодорожным транспортом: автономность, большие преодолеваемые уклоны, в то же время малый радиус поворота, мобильность, высокую результативность в неблагоприятных климатических и топографических условиях [2-4].

В настоящее время в РФ на горных работах производится внедрение автономных транспортных средств на базе технологий оценки дорожной обстановки, которые показали свою эффективность за рубежом [5]. В основном управление автономными транспортными средствами реализуется на основе спутниковых систем навигации, датчиков расстояния и машинного зрения [6].

Спутниковые системы предназначены для определения местоположения, времени, скорости и направления движения [7]. К основным системам относятся GPS и ГЛОНАСС [8]. Недостатком технологии является отсутствие возможности точного определения препятствий перед транспортным средством [9].

Анализ зарубежной и отечественной литературы показал, что для обнаружения препятствий перед транспортным средством используются следующие технологии: дальномер – определяет расстояние от наблюдателя до объекта [7]; лидар (LiDAR) – лазерный локализатор, использующий технологию испускания лазером волн оптического диапазона с дальнейшей регистрацией по времени отраженных лазерных импульсов, которые были рассеяны окружающими объектами; ультразвуковые датчики – устройства, определяющие расстояние до объекта с помощью звуковых колебаний и фиксации времени, за которое ультразвуковые сигналы отражаются и принимаются приемником [10].

Технологии машинного зрения – наиболее обширная и востребованная на сегодняшний день совокупность методов обработки изображений, отличается высокими требованиями к производительности реализующих систем. К технологиям машинного зрения относят: нейроморфное зрение [11]; инфракрасные камеры; камеры в оптическом диапазоне электромагнитного спектра [12]. Технология машинного зрения позволяет эффективно контролировать дорожную ситуацию и оценивать световые сигналы семафоров и дорожную разметку на пути движения [13]. Наибольшие сложности для таких систем представляют детектирование препятствий, их объезд и коррекция траектории по ходу движения движения АТС.

Вышеуказанные технологии в процессе реализации алгоритмов работы наиболее часто представляют собой высоконагруженные приложения, требовательные к аппаратным ресурсам и программным средствам, которые используются в решении подобных задач. Они имеют ряд особенностей в процессе применения – необходимо обрабатывать значительный массив информации либо использовать совокупность систем, определяющих наличие препятствий, работающих на разных принципах. Соответственно, они обуславливают решения согласования и синхронизации их работы [13]. Условия эксплуатации (пыль, влажность и др.) также имеют

значительное влияние на точность работы инженерных решений.

Сотрудниками ФИЦ УУХ СО РАН разработана альтернативная технология обнаружения препятствий и оценки дорожной ситуации перед автономным транспортным средством, основанная на оценке искажения геометрии проекции световых маркеров [14]. Данная технология предусматривает установку на борт транспортного средства излучателей световых маркеров, создавая проекцию в виде сетки перед автономным транспортным средством таким образом, что крайние линии проекции излучаются параллельно габаритной ширине шасси транспортного средства.

Так как параметры проекции световых маркеров, такие как цвет и толщина проецируемых перед АТС линий, а также расстояние между ними, известны, то при искажении их геометрии можно сделать вывод о наличии препятствия или изменении дорожной ситуации перед транспортным средством и своевременно принять решение о коррекции движения или объезде препятствия.

Преимуществом такого подхода является то, что система машинного зрения работает с геометрической формой сетки световых маркеров выделенного региона интереса, что снижает требования к вычислительной производительности аппаратуры.

Прототип такой системы в виде масштабного материального макета реализован на базе шасси сборной модели грузового тягача Tamiya MAN TGX 26.540 в масштабе 1:14 с колесной формулой 6×4. Шасси масштабной модели ТС собрано на металлической продольной раме с пластиковыми поперечинами, оснащено коллекторным электродвигателем постоянного тока, трехскоростной коробкой передач с электронным управлением выбором передачи, карданным приводом от коробки переключения передач к двум ведущим задним мостам, ведущие мосты оснащены дифференциальным приводом на колеса. Передние колеса шасси оснащены рулевым управлением с подключением к сервоприводу, что позволяет осуществлять поворот передних колес с помощью сигнала с цифрового порта ввода-вывода контроллера NI IC-3120.

Исследование алгоритмов автономного движения модели ТС и их тестирование обусловили необходимость проектирования масштабного материального макета карьерной автодороги и обосновании параметров методики расчета макета карьерной автодороги.

Схема движения транспортных средств на карьерных автодорогах включают продольные и поперечные подъемы, уклоны, повороты и развороты по ходу движения, возникла необходимость в проектировании масштабного материального макета карьерной автодороги и обосновании параметров, приближенных к параметрам реальных карьерных автодорог.

Параметры промышленных карьерных автодорог и их конструктивные особенности зависят от параметров автотранспортного средства и регламентируются следующей нормативной документацией:

- СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт»;
- ФНП «Правила безопасности при открытой разработке угольных месторождений открытым способом».

В соответствии с данными документами могут быть установлены такие основные параметры карьерных автодорог, как:

- ширина проезжей части;
- радиус кривых в продольном профиле (Рис. 1 а);
- радиус кривых в плане (Рис. 1 б);

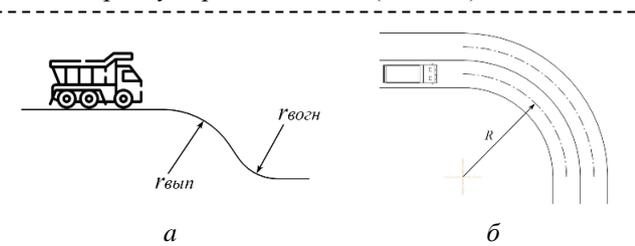


Рис. 1. Радиусы, используемые при проектировании макета автодороги,

где: а – продольный профиль; б – план

Fig. 1. Radius values used for opencast automobile road modelling,

where: а – vertical alignment; б – horizontal curve

- продольный уклон;
- поперечный уклон.

Определение категорий автомобильных дорог, предельно допустимого уклона, а также расчет их параметров произведены в соответствии с СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт» и ФНП

Таблица 1. Базовые параметры карьерной автодороги в продольном профиле

Table 1. Main parameters of opencast automobile road by horizontal curve

№ п.	Характеристика	Максимальные значения параметров для внутриплощадных дорог: базовые / в трудных условиях*
1	Продольный уклон, ‰	30 / 100
2	Расстояние видимости, м: – поверхности дороги – встречного автотранспортного средства	75 / 30 150 / 60
3	Радиус кривых в плане, м	300 / 30
4	Радиус кривых в продольном профиле, м: – выпуклых – вогнутых	2500 / 250 1500 / 370

* Для трудных условий значения характеристик приняты по таблице 7.4 СП 37.13330.2012 из расчета высоты глаз водителя 2 м, высоты фар над поверхностью 0,7 м и расчетной скоростью 20 км/ч.

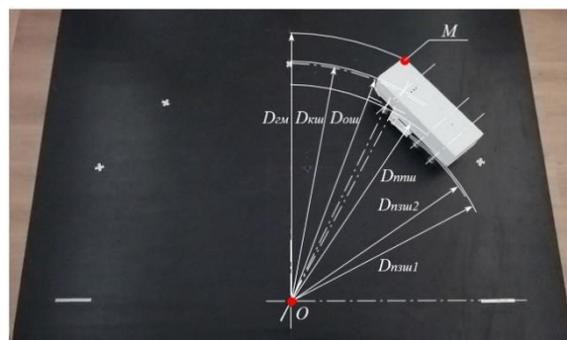


Рис. 2. Поворот и связанные с ним диаметры, где: М – внешняя точка АТС и ее оборудования; О – центр поворота; $D_{гм}$ – габаритный диаметр поворота модели автономного транспортного средства; $D_{ку}$ – внешний диаметр края по шине; $D_{ош}$ – диаметр поворота оси шины; $D_{нну}$ – внутренний диаметр поворота по передней шине; $D_{нзу1}$ – внутренний диаметр поворота задней шины 1; $D_{нзу2}$ – внутренний диаметр поворота задней шины 2

Fig. 2. Turn and its diameters, where: М – most outer AV point; О – turn center; $D_{гм}$ – model overall turn diameter; $D_{ку}$ – wheel outer diameter; $D_{ош}$ – wheel axis turn diameter; $D_{нну}$ – front wheel inner diameter; $D_{нзу1}$ – back wheel inner diameter 1; $D_{нзу2}$ – back wheel inner diameter 2

«Правила безопасности при открытой разработке угольных месторождений открытым способом».

Моделируемый масштабный макет карьерной автодороги был отнесен к категории III-к: временные внутриплощадные автодороги основного назначения с расчетной скоростью движения 20 км/ч. Параметры моделируемого масштабного макета карьерной автодороги в продольном профиле представлены в Таблице 1.

В Таблице 1 указан радиус кривых в плане, установленный для автодорог категории III-к в базовых и трудных условиях движения. Для проверки соответствия используемой масштабной модели автономного транспортного средства установленной норме необходимо произвести расчет радиуса скруглений, вычисляемого в соответствии с ГОСТ ISO 7457-2017.

В соответствии с Межгосударственным стандартом ISO 7457-2017 «Машины землеройные. Определение размеров поворота колесных машин», радиус закруглений – половина диаметра поворота $D/2$ оси шины, определяемого центрами контакта с поверхностью испытательной площадки шины колеса, которое в свою очередь описывает наибольший круг при выполнении автотранспортным средством возможного наиболее крутого поворота (Рис. 2).

Для нахождения радиуса закругления необходимо вычислить диаметр, который описывает масштабная модель автономного транспортного средства за один наиболее крутой поворот. Для этого модель автономного транспортного средства

перемещалась передним ходом с минимально возможной скоростью при повороте передней колесной пары вправо до упора, пока она не описала полный круг. Затем, продолжая вести автотранспортное средство передним ходом с минимально возможной скоростью, не меняя положение поворотной колесной пары, выполнили дополнительный полный поворот с остановками через равные короткие промежутки пути. На соответствующих остановках с помощью отвеса были отмечены на поверхности пло-



Рис. 3. Местоположение точек на поверхности при определении диаметра поворота, где:

A – ближайшие к центру поворота точки нагруженной (нижней) части вертикального сечения шины внутреннего колеса; *B* – крайние наиболее удаленные от центра поворота точки, расположенные в вертикальном сечении внешнего колеса.

Fig. 3. Point location on area determining turn diameter, where:

A – closest point to turn center of inner wheel down part in vertical section; *B* – the outermost points from turn center point; *C* – closest point to turn center of outer wheel down part in vertical section.

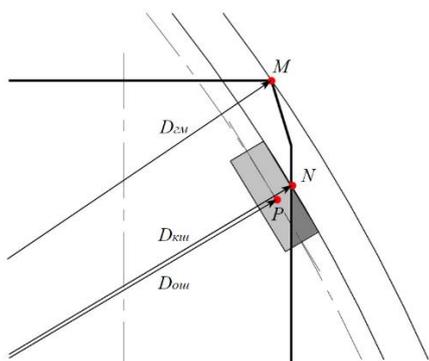


Рис. 4. Расположение точек, описывающих диаметры модели автономного транспортного средства, где: *M* – габаритный диаметр, *N* – внешний диаметр колеса, *P* – диаметр поворота оси шины

Fig. 4. Location of points describing AV diameters where: *M* – overall diameter, *N* – outer wheel diameter, *P* – wheel axis turn diameter

щадки соответствующие точки (Рис. 3).

Проведена серия из десяти натуральных измерений в соответствии с методом измерения, указанным на Рис. 2, с использованием модели автономного транспортного средства в результате получены диаметры

Таблица 2. Результаты определения диаметров, описываемых моделью АТС

Table 2. Determining AV model diameter results

Диаметр	Среднеарифметическое значение,
	мм
Внешний	1960
Внутренний	1940
Габаритный	1980

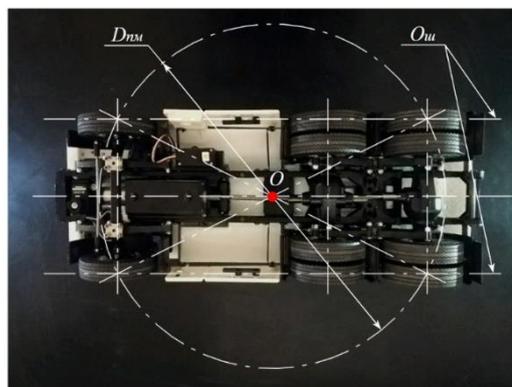


Рис. 5. Центр поворота масштабной модели автономного транспортного средства, где: *D_{пм}* – диаметр поворота АТС; *O_ш* – ось шины; *O* – центр поворота

Fig. 5. AV model turns center, where: *D_{пм}* – AV turn diameter; *O_ш* – wheel axis; *O* – turn center

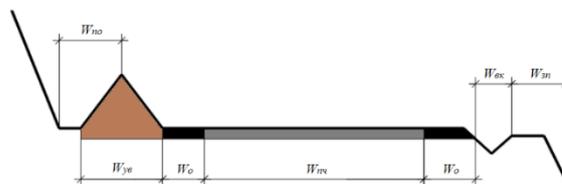


Рис. 6. Поперечный разрез транспортной бермы, где: *W_{по}* – ширина призмы обрушения, м; *W_{ув}* – ширина удерживающего вала, м; *W_о* – ширина обочины, м; *W_{пч}* – ширина проезжей части; *W_{вк}* – ширина водоотливной канавы, м; *W_{зн}* – ширина заюветной полки

Fig. 6. Berm cross section diagram, where: *W_{по}* – caving width, m; *W_{ув}* – securing wall width, m; *W_о* – shoulder width, m; *W_{пч}* – road width; *W_{вк}* – catch drain width, m; *W_{зн}* – ditch width

окружностей (Таблица 2), описанные точками, указанными на Рис. 4.

На основании полученных результатов рассчитано среднеарифметическое значение измеренных диаметров. В соответствии с методологией Межгосударственного стандарта ISO 7457-2017 также был измерен габаритный диаметр поворота АТС, принятого по диаметру наименьшей из окружностей, описываемых крайними внешними точками АТС, а также внешний и внутренний диаметры поворота по шинам.

На Рис. 5 представлен центр поворота масштабной модели автономного транспортного средства, вокруг которой выполнялись все повороты постоянного радиуса.

Радиус закруглений в масштабе 1:1 должен составлять 13,7 м, что меньше значений, заданных в СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт». Следовательно, при сопоставлении расчетных данных с масштабом 1:14, радиус закруглений для масштабного материального макета карьерной автодороги принят равным 2150 мм. По результатам проведения натуральных измерений на масштабной модели ТС в соответствии с методологией ISO 7457-2017, выявлено, что минимальный диаметр поворота масштабной модели ТС равен 1951 мм, а

Таблица 3. Базовые параметры поперечного профиля карьерной автодороги
Table 3. Main parameters of open-cast automobile road by vertical alignment

№ п.	Характеристика	Максимальные значения для внутриплощадных дорог на прямолинейном участке / на вираже
1	Число полос движения, шт	2
2	Ширина проезжей части, м	9,0 / 11,2*
3	Ширина обочины, м	1,5 / 1
4	Максимальный поперечный уклон, ‰	30 / 40**

* уширение проезжей части принято по таблице 7.11а СП 37.13330.2012 исходя из габаритов автотранспортного средства в масштабе 1:1 от переднего бампера до задней оси 6,3 м

** величина поперечного уклона принята по таблицам 7.4 и 7.11 СП 37.13330.2012 для переходного типа дорожной одежды и с учетом климатических условий предполагаемого района расположения автомобильной дороги

Таблица 4. Результаты определения базовых параметров масштабной модели карьерной автодороги

Table 4. Determining main open-cast road parameter results

№ п.	Характеристика	Значение для модели (М 1:14)
1	Ширина проезжей части, мм	643 – 800
2	Радиус кривых в плане, мм	2142
3	Радиус кривых в продольном профиле, м: Выпуклых Вогнутых	17,9 26,4
4	Продольный уклон, ‰	0 – 100
5	Поперечный уклон, ‰	0 – 40

минимальный радиус закруглений масштабного материального макета автодороги равен 975,5 мм.

После определения радиуса закруглений определены основные параметры поперечного профиля бермы моделируемого масштабного макета карьерной автодороги (Рис. 6).

Ширина транспортной бермы автомобильных дорог категории "к" определяется поперечными размерами закуветной полки для сбора осыпей с вышележащего откоса, водоотводного сооружения, проезжей части, обочин, ограждения и полосы безопасности (призмы обрушения), отделяющей бровку земляного полотна от ограждения (п. 7.9. СП 37.13330.2012).

Для моделирования масштабного макета карьерной автодороги из упомянутых выше параметров наиболее значимыми являются максимальный поперечный уклон [15] и ширина проезжей части, за пределы которой не должна выходить траектория движения модели автономного транспортного средства при движении и совершении маневров поворота. Для проверки габаритов модели АТС принятым нормам был произведен расчет ширины проезжей части по методике ISO 7457-2017, согласно которой ширина проезжей части дороги зависит от ширины и габаритов автотранспортного средства, а также от схемы движения автотранспортного средства и коэффициента суммарной скорости встречного автомобильного транспорта. При двухполосном движении ширина проезжей части Ш постоянных автодорог определяется по формуле (1):

$$Ш = 2E \times Kv + \Delta Ш, \quad (1)$$

где E – ширина транспортного средства, м; Kv – коэффициент, учитывающий суммарную скорость встречных транспортных средств (при $V = 20$ км/ч, $Kv = 1,6$); $\Delta Ш$ – величина, учитывающая габариты транспортного средства, $\Delta Ш = 1,0$.

Конструкция моделируемого масштабного макета карьерной автодороги предполагает одновременное движение по двум направлениям нескольких ТС, ширина которых составляет 2,3 м, скорость – не более 20 км/ч.

Таким образом, с учетом всех параметров, ширина дорожного полотна по формуле (1) составит 8,36 м, что соответствует нормам СП 37.13330.2012.

В результате проведенного анализа нормативных требований к моделируемому участку автодороги и опыта исследований в области автономного транспорта определены параметры масштабной модели карьерной автодороги, которые указаны в Таблице 4.

Для проведения испытаний движения масштабной модели автономного транспортного средства установлены следующие участки маневра: регулируемый продольный подъем, прямолинейное движение до регулируемого продольного уклона, регулируемый продольный уклон, участки поворота, заезд на регулируемый поперечный уклон, регулируемый поперечный уклон, съезд с регулируемого поперечного уклона. На закрытом технологическом участке тестирования масштабного материального макета автономного транспортного средства определена длина участков маневра и их количество (Рис. 7).

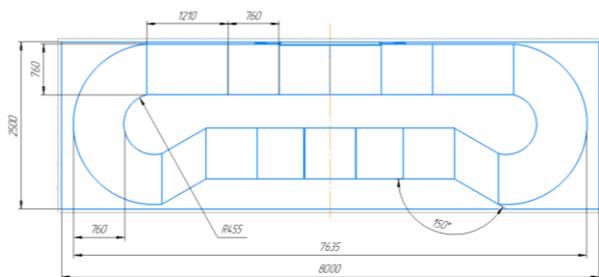


Рис. 7. Эскиз масштабного материального макета карьерной автодороги
Fig. 7. Opencast automobile road model blueprint

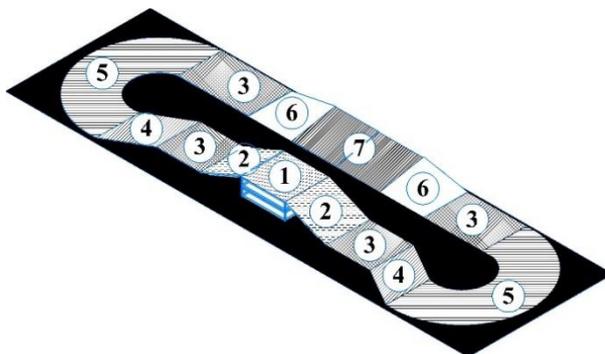


Рис. 8. Модель масштабного материального макета карьерной автодороги на закрытом технологическом участке, где 1 – участок регулируемого плато, 2 – участок продольного подъема/уклона, 3 – участок прямолинейного движения, 4 – участок заезда к повороту, 5 – участок поворота, 6 – участок поперечного подъема/уклона, 7 – участок поперечного уклона

Fig. 8. Opencast automobile road computer model, where 1 – controllable plateau, 2 – linear rise/descent, 3 – linear ride area, 4 – turn star area, 5 – turn area, 6 – crossover rise/descent, 7 – crossover incline

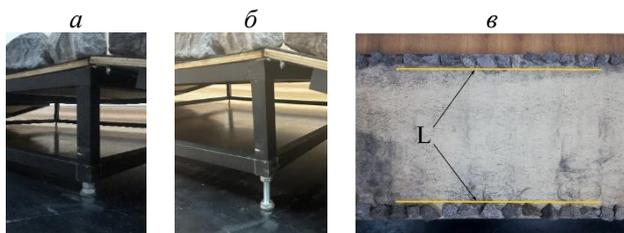


Рис. 9. Фрагмент масштабного материального макета карьерной автодороги, где: а – регулируемое плато с минимальной высотой; б – регулируемое плато с максимальной высотой; в – поверхность с удерживающим валом, где L – условная линия обочины

Fig. 9. Opencast automobile road module, where: а – controllable plateau minimum height; б – controllable plateau maximum height; в – area with securing wall, where L – shoulder line

Спроектированный макет карьерной автодороги предполагает следующую последовательность маневров для автономного транспортного средства: прямолинейное движение вперед со стартовой позиции, поворот налево к участку продольного

подъема, прямолинейное движение к продольному уклону, поворот вправо к началу участка разворота, разворот влево к подъему на участок с поперечным уклоном, спуск с участка с поперечным уклоном, поворот в стартовую позицию (Рис. 8).

Для сборки элементов маневров масштабного материального макета карьерной автодороги применена каркасно-крепежная система, состоящая из профильных алюминиевых труб и ортогональных соединительных элементов. Поскольку при проектировании макета учитывалась возможность регулирования углов подъемов и уклонов, конструкция каркаса предусматривает изменение высот (Рис. 9 а, 9 б). Поверхность выполнена из листов слоистой клееной древесины, имеющих форму квадрата со стороной 760 мм толщиной 4 мм. Дорожное покрытие выполнено из резинового полотна, покрытого тальком песочного цвета, который предотвращает скольжение модели АТС при движении, а также приближает визуальное исполнение дороги к реальной. Функцию удерживающего вала дороги выполняют фрагменты горной породы, установленные на масштабной модели карьерной автодороги таким образом, чтобы крайние их точки формировали условную линию обочины (Рис. 9 в).

Наличие масштабного макета карьерной автомобильной дороги позволило перейти от теоретической области исследований алгоритмов автономного движения ТС к стадии тестирования и отладки на макете карьерной автомобильной дороги.

Методика расчета на основе нормативной документации позволила определить основные требования к проектированию таких трасс, которые возможно использовать для прототипирования различных схем и участков движения моделей ТС, что позволяет в дальнейшем проводить натурные испытания на карьерном автономном транспорте.

Исследование выполнено в рамках КНТП, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р. по мероприятию «Разработка системы управления автономными транспортными средствами на основе проецируемой траектории движения» (Соглашение от 28.09.2022 № 075-15-2022-1199).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за январь – июнь 2022 года // Уголь. 2022. № 9. С. 7–22.
2. Буянкин А. В. Карьерные перевозки: учеб. Пособие. Кемерово. 2013. С. 46.
3. Шешко Е. Е. Эксплуатация и ремонт оборудования транспортных комплексов карьеров: учеб. Пособие. Москва. 2000. С. 425.
4. Ржевский В. В. Открытые горные работы: учебник для вузов. Кемерово. 1985. С. 509.
5. Клебанов Д. А. [и др.] Применение автономной и дистанционно-управляемой техники на открытых горных работах // Горная промышленность. 2020. № 6. С. 14–18.

6. Никитенко М. С., Кизилов С. А., Худоногов Д. Ю. Анализ подходов к управлению автономными транспортными средствами // Современные наукоемкие технологии. №12–2. 2022. С. 278–283.

7. Реута Н. С. [и др.] Анализ современных систем ориентирования в пространстве // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2017. Т. 1. С. 151–153.

8. Соловьев Ю. А. Спутниковые системы навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. 270 с.

9. Ашрафзянов А. М., Шлеймочив М. П. Обнаружение и распознавание препятствий перед автомобилем на основе обработки видеоизображений // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2014. № 2. С. 197–202.

10. Базыкин С. Н., Урваев И. Н. Ультразвуковой дальномер для системы обнаружения препятствий при движении мобильного робота // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 4(64). С. 97–107.

11. Miao Shu, Chen Guang, Ning Xiangyu, Zi Yang, Ren Kejia, Bing Zhenshan, Knoll Alois.

Neuromorphic Vision Datasets for Pedestrian Detection, Action Recognition, and Fall Detection // Frontiers in Neurorobotics. 2019. Vol. 13. 10.3389/fnbot.2019.00038

12. Papagianopoulos, Ioannis & Mey, Gilbert & Kos, Andrzej & Wiecek, Boguslaw & Chatziathasiou, Vasilis. (2023). Obstacle Detection in Infrared Navigation for Blind People and Mobile Robots. Sensors. 23. 7198. 10.3390/s23167198.

13. Xiaoyan Y., Marin M. A Study on Recent Developments and Issues with Obstacle Detection Systems for Automated Vehicles // Sustainability. 2020. Vol. 12 (8). P. 3281. DOI: 10.3390/su12083281.

14. Верховцев Д. О. [и др.] Распознавание препятствий машинным зрением на основе искажения сетки световых маркеров // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2023. №9. С. 233–238.

15. Косолапов А. И., Косолапова С. А. Обоснование продольного уклона карьерных автомобильных дорог при разработке глубинного месторождения // Фундаментальные исследования. 2005. № 9. С. 35–36.

© 2023 Автор. 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:

Попинако Ярослав Владимирович, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, (650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 18), Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: roripakoaya@gmail.com

Ефременкова Маргарита Витальевна¹, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, (650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 18)

Никитенко Михаил Сергеевич^{1,2}, кандидат техн. наук, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, (650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 18), Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Худоногов Данила Юрьевич¹, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, (650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 18)

Заявленный вклад авторов:

Попинако Ярослав Владимирович, Ефременкова Маргарита Витальевна, Никитенко Михаил Сергеевич, Худоногов Данила Юрьевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; сбор и анализ данных; выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Popinako Y.V.^{1,2*}, Efremenkova M.V.¹, Nikitenko M.S.^{1,2}, Ph.D., Khudonogov D.Yu.¹

¹The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*E-mail: popinakoya@gmail.com

AN OPENCAS T AUTOMOBILE ROAD MODEL PARAMETERS DETERMINING FOR TESTING AND TUNNING AUTOMATED ROBOTIC CHASSIS



Article info

Received:
25 November 2023

Accepted for publication:
30 November 2023

Accepted:
01 December 2023

Published:
21 December 2023

Keywords: autonomous vehicle, robotic chassis, control system, opencast automobile road parameters, machine vision, debugging, testing, modeling.

Abstract.

The article discusses the main approaches to the autonomous vehicles control in the mining industry. An alternative approach to autonomous vehicle control based on machine vision technology using light markers is described. A method of determining the parameters of the prototyped road model is proposed depending on the linear and angular parameters of the chassis model used based on the regulatory documentation analysis. The main parameters of a large-scale opencast automobile road model for debugging and testing an autonomous robotic chassis are substantiated and determined. The most significant parameters to achieve the study objectives are determined. A description of the developed road based on the calculated parameters is presented including parts of road such as linear rise, controllable plateau, linear descent, linear ride area, turn start area, turn area, crossover rise, crossover incline, crossover descent. The length of road segments and their number are determined. The calculation method allows to determine the requirements for the developed road models which can be used in prototyping vehicle model control systems to conduct testing and debugging.

For citation: Popinako Y.V., Efremenkova M.V., Nikitenko M.S., Khudonogov D.Yu. An opencast automobile road model parameters determining for testing and tuning automated robotic chassis. Mining Equipment and Electromechanics, 2023; 6(170):41-49 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-41-49, EDN: OAYEPE

REFERENCES

1. Petrenko I.E. Itogi raboty ugolnoy promyshlennosti Rossii za yanvar – iun 2022 goda . *Ugol*. 2022; 9:7–22.
2. Buyankin A.V. Carriernie perevozki: ucheb. Posobie. Kemerovo. 2013. P. 46.
3. Sheshko E.E. Explotatsia I remont oborudovaniya transportnikh komplexov carrierov: ucheb. Posobie. Moscow. 2000. P. 425.
4. Rjevsky V.V. Otkritie gornie raboty: uchebkik dlya vuzov. Kemerovo. 1985. P. 509.
5. Klebanov D.A. [et al.] Primenenie avtonomnoy I distantsionno-upravlyaemoy tekhniki na otkritikh gornikh rabotakh. *Gornaya promyshlennost*. 2020; 6:14–18.
6. Nikitenko M.S., Kizilov S.A., Khudonogov D.Yu. Analiz podkhodov k upravleniyu avtonomnimi

transportnimi sredstvami. *Sovremennie naukoemkie tekhnologii*. 2022; 12–2:278–283.

7. Reuta N.S. [et al.] Analiz sovremennikh sistem orientirovaniya v prostranstve. *Trudy mejdunarodnogo symposiuma "Nadejnost I kachestvo"*. 2017; 1:151–153.

8. Soloviev Yu.A. Sputnikovie sistemi navigatsii. M.: Eco-Trends; 2000. 270 p.

9. Ashravzyanov A.M., Shleymovich M.P. Obnaruzhenie I raspoznavanie prepyatstviy pered avtomobilem na osnove obrabotki videoizobrazheniy. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva*. 2014; 2:197–202.

10. Bazykin S.N., Urvaev I.N. Ul'trazvukovoy dalnomer dlya sistemi obnaruzheniya prepyatstviy pri dvizhenii mobilnogo robota. *Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 2022. № 4(64). P. 97–107.

11. Miao Shu, Chen Guang, Ning Xiangyu, Zi Yang, Ren Kejia, Bing Zhenshan, Knoll Alois. Neuro-morphic Vision Datasets for Pedestrian Detection, Action Recognition, and Fall Detection. *Frontiers in Neurobotics*. 2019; 13. 10.3389/fnbot.2019.00038

12. Papagianopoulos, Ioannis & Mey, Gilbert & Kos, Andrzej & Wiecek, Boguslaw & Chatziathasiou, Vasilis. (2023). Obstacle Detection in Infrared Navigation for Blind People and Mobile Robots. *Sensors*. 23. 7198. 10.3390/s23167198.

13. Xiaoyan Y., Marin M. A Study on Recent Developments and Issues with Obstacle Detection Systems

for Automated Vehicles. *Sustainability*. 2020; 12(8):3281. DOI: 10.3390/su12083281.

14. Verkhovcev D. O. [et al.] Raspoznavanie prepyatstviy machinnym zreniem na osnove iskajeniya setki svetovikh markerov // Naukoemkie tehnologii razrabotki I ispolzavaniya mineralnikh resursov. 2023; 9:233–238.

15. Kosolapov A.I., Kosolapova S.A. Obosnpvanie prodolnogo uklona carriernikh avtomobilnikh dorog pri razrabotke glubinnogo mestorjdeniya. *Fundamentalnie issledovaniya*. 2005; 9:35–36.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declares no conflict of interest.

About the author:

Popinako Y.V., The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (650000, Russia, Kemerovo, 18 Sovetsky av.), T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, 28 Vesennyaya St.), e-mail: popinakoya@gmail.com

Efremenkova M.V., The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (650000, Russia, Kemerovo, 18 Sovetsky av.),

Nikitenko M.S.^{1,2}, The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (650000, Russia, Kemerovo, 18 Sovetsky av.), T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, 28 Vesennyaya St.)

Khudonogov D.Yu., The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (650000, Russia, Kemerovo, 18 Sovetsky av.),

Contribution of the authors:

Popinako Y.V., Efremenkova M.V., Nikitenko M.S., Khudonogov D.Yu. - statement of the research problem, scientific management; review of relevant literature; conceptualization of the study; data collection and analysis; conclusions, text writing

Author have read and approved the final manuscript.

