РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПАРКОВКИ ГРУЗОВИКА С ПОЛУПРИЦЕПОМ

Е.С. Каширов

ekashirov@gmail.com

ГБОУ лицей № 1581, Москва, Российская Федерация

Аннотация	Ключевые слова
<i>Проанализированы основные конструктивные особенности существующих тягачей и полуприцепов, а также особенности процесса перпендикулярной парковки полуприцепа. Разработана модель системы на базе серии конструктора lego и электронных компонентов Mindstorms, алгоритм управления тягачом и его программный прототип.</i>	<i>Беспилотные средства грузоперевозок, перпендикулярная парковка, автопоезд, алгоритм программного управления</i> Поступила в редакцию 12.06.2017 © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Основной причиной развития беспилотных средств грузоперевозок послужила потребность исключения человека из управления транспортным средством, вследствие большого влияния на процесс движения человеческого фактора [1–5].

В настоящее время большинство тягачей пилотируются вручную. При ручном управлении возникают трудности, связанные с подготовкой водителей к управлению автопоездом и, в особенности, к процессу парковки. В связи с этим возникает необходимость в автоматизации процесса движения автопоезда, которая бы уменьшила влияние человеческого фактора на процесс парковки, а также снизила время, необходимое для совершения маневра.

На данный момент не существует систем автоматического управления автопоездом, способных обеспечить процесс перпендикулярной парковки полуприцепа в заданный сектор. Поэтому, актуальной является задача создания такой системы, обеспечивающей автономное выполнение данной операции.

Разрабатываемая система предназначена для использования на седельных тягачах с полуприцепом, а также на других средствах грузоперевозок, имеющих в своем составе полуприцеп.

Движение полуприцепа за тягачом имеет некоторые особенности, которые нужно учитывать при рулевом управлении [6]. Главная особенность состоит в том, что колесная ось полуприцепа движется по радиусу, меньшему, чем радиус движения тягача, как показано на рис. 1.

Данная разница зависит от трех основных параметров:

- 1) длины тягача;
- 2) длины полуприцепа;
- 3) угла между тягачом и полуприцепом.

Особенности перпендикулярной парковки полуприцепа. Перпендикулярная парковка полуприцепа является одним из самых сложных маневров автопоезда и подразделяется на несколько этапов [7].

Рис. 1. Движение тягача с полуприцепом по окружности:

α — угол между тягачом и полуприцепом

Процесс перпендикулярной парковки начинается с проезда автопоезда от осевой парковочной линии на некоторое расстояние S , как показано на рис. 2. Данное расстояние зависит от габаритных характеристик тягача и характеристик рулевого управления, но не зависит от габаритов полуприцепа.

Рис. 2. Проезд автопоезда от осевой парковочной линии

Необходимость данной процедуры обусловлена тем, что тягач с полуприцепом не может сразу совершить разворот вокруг оси полуприцепа из прямого положения сцепки. Поэтому, автопоезд в процессе парковки будет иметь смещение вдоль оси начального положения.

Поворот рулевых колес на максимальный угол в сторону противоположную направлению парковки и движение задним ходом до образования угла сцепки в 90° , что демонстрируется на рис. 3.

Рис. 3. Складывание автопоезда

Поворот рулевых колес на угол, при котором сохраняется угол сцепки в 90° при движении автопоезда задним ходом, движение задним ходом до момента, пока между полуприцепом и осью парковки не образуется угол γ (рис. 4).

Рис. 4. Движение сложенного автопоезда до положения угла принятия решения

Рис. 5. Выравнивание автопоезда вдоль осевой парковочной линии

Данный угол γ является углом принятия решения, при котором еще возможно выравнивание тягача и полуприцепа в одну линию при максимальном угле отклонения рулевых колес в сторону складывания.

Поворот рулевых колес на максимальный угол в сторону складывания и движение автопоезда задним ходом до выравнивания тягача и полуприцепа в одну линию, как показано на рис. 5.

Движение автопоезда задним ходом до конечной точки при поддержании нулевого угла сцепки ($\alpha = 0$).

Конструктивные особенности рулевого управления.

Изменение направления движения автомобиля достигается путем изменения угла отклонения передних рулевых колес влево или вправо при помощи рулевого управления [3], как показано на рис. 6.

Для того чтобы при движении автомобиля на повороте его рулевые колеса имели качение без проскальзывания, они должны катиться по окружностям, описанным из одного центра — центра поворота, лежащего в точке О [2]. В результате колеса автомобиля при повороте описывают окружности разного радиуса: ближе к центру поворота колесо описывает меньший радиус, чем дальнее.

Для движения рулевых колес по разным радиусам и соблюдения схождения радиусов в одной точке, следует соблюдать принцип Аккермана, проиллюстрированный на рис. 7. Данный принцип определяет геометрию рулевого управления и заключается в использовании наклонных рулевых рычагов, мысленные продолжения которых должны сходиться по центру задней оси автомобиля.

Рис. 6. Рулевое управление колесами тягача:
точка О — центр поворота

Кинематические особенности движения тягача. Движение тягача по окружности напрямую зависит от его габаритных характеристик и характеристик рулевого управления рис. 8.

С помощью геометрических преобразований можно вывести формулу зависимости радиуса поворота тягача от угла поворота внутреннего рулевого колеса:

$$R_r = \frac{Ll}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{B}{2},$$

где L — база тягача; B — расстояние между точками пересечения осей шкворней с опорной поверхностью; β — угол поворота внутреннего рулевого колеса.

Рис. 8. Габаритные характеристики и характеристики рулевого управления тягача при движении по окружности

Рис. 7. Рулевое управление колесами тягача по принципу Аккермана

Устройство трансмиссии тягача. При движении по окружности, ведущие колеса тягача совершают движение с разными радиусами [4]. Для того, чтобы качение внутреннего колеса было без проскальзывания, оно должно вращаться

Рис. 9. Дифференциал ведущего моста тягача

с меньшей угловой скоростью, чем внешнее. Вследствие этого возникает необходимость распределения крутящего момента двигателя между ведущими колесами. Для реализации этого принципа используется дифференциал, изображенный на рис. 9. Дифференциал состоит из шестерней полуосей 1, ведущей шестерни главной передачи 2, ведомой шестерни главной передачи 3, сателлитов 4 и корпуса 5.

Конструкция модели. Для создания модели тягача и полуприцепа использовали комплектующие кон-

структора Lego, которые позволили создать необходимые механические конструкции и обеспечили простоту сборки.

Конструктор Lego представляет собой набор перфорированных деталей, изготовленных из пластмассы, которые способны соединяться друг с другом посредством различных фиксирующих втулок и валов. Готовая модель представлена на рис. 10.

Рис. 10. Разработанная модель грузовика с полуприцепом

Основные габаритно-весовые характеристики модели:

- база тягача — 255 мм;
- длина полуприцепа до задней оси — 600 мм;
- расстояние между шарнирами колес — 115 мм;
- полная масса модели — 1,4 кг.

Данные соотношения габаритов применимы к большинству современных тягачей с поправками на масштаб [5].

В процессе создания модели учтены все особенности конструкции реального тягача.

Принцип рулевого управления реализован с помощью угловых рулевых тяг, шарниры которых расположены по принципу Аккермана: линии, проведенные

мысленно через шарниры, сходящиеся в центре задней оси тягача (рис. 11). Применение данного метода позволило избежать проскальзывания рулевых колес, следовательно, повысить точность.

Рис. 11. Реализация принципа Аккермана на разработанной модели

В данной модели, в отличие от современных магистральных автопоездов, использованы шины арочного типа. Это связано с тем, что с помощью данного конструктора невозможно реализовать необходимые характеристики развала колес, а значит нельзя минимизировать погрешности, связанные с уводом плоскопрофильных шин. Использование арочных шин позволило исключить данные погрешности и повысить точность работы системы.

Изменение угла отклонения рулевых колес производится путем смещения зубчатой рулевой рейки поворотом шестеренчатого вала, который приводится в движение сервомотором. Шестеренчатый вал подключен к сервомотору через понижающий редуктор с передаточным отношением 12:20, что позволило значительно увеличить точность рулевого управления.

С помощью данной рулевой системы возможно изменять угол отклонения рулевых колес на 45° в обе стороны с точностью в $0,5^\circ$.

При создании главной передачи был использован дифференциал, также из конструктора Lego. Он позволил распределить крутящий момент двигателя на колеса по-разному, вследствие чего при поворотах ведущие колеса практически не проскальзывают.

При создании модели был использован набор электронных компонентов Mindstorms фирмы Lego, состоящий из БЦВМ (бортовой центральной вычислительной машины), двух сервомоторов, датчика цвета, угла поворота, инфракрасного датчика и одноосного гироскопа. Также в комплект входят соединительные шестижильные провода.

БЦВМ представляет собой небольшой блок, который служит источником питания, центром управления модели, средством ввода и вывода информации. В БЦВМ используются элементы питания формата АА. Рабочее напряжение в цепи составляет 9 В.

Моторы, применяемые при создании модели, оснащены обратной связью, что позволяет им с высокой точностью выполнять поставленные задачи.

Датчик цвета, использован с целью определения местонахождения свободного парковочного места. При движении автопоезда вдоль парковочного ряда данные считываются с индикаторов парковочной зоны, которые в зависимости от того занято или свободно место имеют красный или зеленый цвет. После нахождения свободного места тягач проезжает вперед на необходимое для парковки расстояние.

Датчик угла поворота, позволяет определить текущее значение угла поворота сцепки и контролировать его на всем протяжении процесса парковки.

Гироскопический датчик, служит для определения текущего угла поворота полуприцепа во время парковки относительно начального положения. Он позволяет определить угол принятия решения для выравнивания и момент, когда полуприцеп изменил свое положение на 90° относительно начального положения.

Инфракрасный датчик использован для отключения ведущего мотора при приближении полуприцепа к препятствию (ограничителю парковочного пространства) после заезда полуприцепа в парковочную зону.

Функциональная схема модели представлена на рис. 12.

Рис. 12. Функциональная схема предложенной модели

Практической реализацией управления грузовиком с полуприцепом является программный модуль. Среда программирования контроллера mindstorms базируется на графическом языке LabVIEW. Фрагмент программы изображен на рис. 13.

Рис. 13. Фрагмент программного модуля Mindstorms

Исследовательская часть. После сборки макета проведена серия испытаний, целью которой было определение зависимости величины угла принятия решения при складывании от длины полуприцепа. Испытания заключались в ручной имитации полного процесса парковки автопоезда с различными длинами полуприцепов и фиксации значений угла принятия решения. Результаты измерений приведены ниже.

Результаты измерения угла принятия решения

Длина полуприцепа, мм	Величина угла, град.
445.....	97
515.....	73
595.....	55
635.....	47,5
700.....	36
760.....	38

Как видно, величина угла напрямую зависит от длины полуприцепа. По данным измерений построен график зависимости угла принятия решения от длины полуприцепа (рис. 14).

Рис. 14. Зависимость угла принятия решения от длины полуприцепа

Отметим также, что проведена серия испытаний, в результате которых по трем основным точкам автопоезда (центру рулевой оси тягача, центру ведущей оси тягача и центру оси полуприцепа) выявлена истинная траектория движения (рис. 15).

Рис. 15. Истинная траектория движения автопоезда

В ходе исследований установлена зависимость угла отклонения рулевых колес (рис. 16, а) и скорости автопоезда (рис. 16, б) от времени.

а

Рис. 16. Зависимости угла отклонения рулевых колес (а) и скорости автопоезда (б) от времени

б

Рис. 16. Зависимости угла отклонения рулевых колес (а) и скорости автопоезда (б) от времени

По результатам испытаний можно сделать вывод, что предложенная система выполняет поставленную задачу. В ходе проектной работы рассмотрены основные конструктивные особенности существующих тягачей и полуприцепов, особенности процесса перпендикулярной парковки полуприцепа, разработаны модель системы на базе конструктора lego и электронных компонентов Mindstorms, а также алгоритм управления тягачом и его программный прототип.

Работа выполнена в рамках научной конференции молодых исследователей «Шаг в будущее, Москва».

Литература

- [1] КАМАЗ и Cognitive Technologies разрабатывают беспилотный автомобиль. URL: <https://ria.ru/economy/20150203/1045597217.html> (дата обращения 17.10.2016).
- [2] Титаренко Д.Н. *Базовые понятия геометрии ходовой части и рулевого управления*. Санкт-Петербург, Институт Евро Авто, 2012, 31 с.
- [3] Малиновский М.П. *Экспериментальное исследование характеристик систем управления транспортных средств*. Москва, МАДИ, 2011, 123 с.
- [4] Андреевич А.Ф., Ванцевич В.В., Лефаров А.Х. *Дифференциалы колесных машин*. Под общ. ред. А.Х. Лефарова. Москва, Машиностроение, 1987, 176 с.
- [5] KAMAZ-5490-S5. URL: <http://kamaz.ru/production/serial/sedelnye-tyagachi/kamaz-5490-s5/> (дата обращения 18.10.2016).

- [6] Елугачев П.А., Катасонов М.А., Елугачев М.А. Обоснование ширины и количества полос движения на кольцевых пересечениях автомобильных дорог. *САПР и ГИС автомобильных дорог*, 2013, № 1, с. 24–28.

Каширов Егор Сергеевич — учащийся ГБОУ лица №1581, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.А. Карпунин, канд. техн. наук, доцент «Системы автоматического управления», Москва, Российская Федерация.

DEVELOPING THE AUTOMATED PARKING SYSTEM FOR THE SEMITRAILER TRUCK

E.S. Kashirov

ekashirov@gmail.com

Lyceum №1581, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article analyses the main design features of the existing tow-cars and semitrailer trucks as well as the distinctive features of the semitrailer truck perpendicular parking process. We have developed a system model based on the Lego set and Mindstorms electronics series, the tow-car control algorithm and its program prototype.

Keywords

Unmanned cargo vehicles, perpendicular parking, long haul truck, control algorithm

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] KAMAZ i Cognitive Technologies razrabatyvayut bespilotnyy avtomobil' [KAMAZ and Cognitive Technologies are developing self-driving car]. Available at: <https://ria.ru/economy/20150203/1045597217.html> (accessed 17 October 2016).
- [2] Titarenko D.N. Bazovye ponyatiya geometrii khodovoy chasti i rulevogo upravleniya [Basic concepts of undercarriage and steering geometry]. Sankt-Petersburg, Institut Evro Avto publ., 2012, 31 p.
- [3] Malinovskiy M.P. Eksperimental'noe issledovanie kharakteristik sistem upravleniya transportnykh sredstv [Experimental research on parameters of vehicle control systems]. Moscow, MADI publ., 2011, 123 p.
- [4] Andreevich A.F., Vantsevich V.V., Lefarov A.Kh. Differentsialy kolesnykh mashin [Differentials of wheeled vehicles]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987, 176 p.
- [5] KAMAZ-5490-S5. Available at: <http://kamaz.ru/production/serial/sedelnye-tyagachi/kamaz-5490-s5/> (accessed 18 October 2016).
- [6] Elugachev P.A., Katasonov M.A., Elugachev M.A. The justification of width and number of lanes on traffic circles. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog* [CAD & GIS for roads], 2013, no. 1, pp. 24–28.

Kashirov E.S. — student, Lyceum №1581, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Karpunin A.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Computer Systems, Complexes and Networks Department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.