УДК 629.332

© С. А. Воробьев, канд. техн. наук, доцент
© О. А. Никифоров, студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: svorobev@list.ru, nikiforov.nauro@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-197-201

© S. A. Vorobyov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© O. A. Nikiforov, student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: svorobev@list.ru, nikiforov.nauro@gmail.com

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕДЕЛЬНЫМ АВТОПОЕЗДОМ ДЛЯ МАНЕВРИРОВАНИЯ ПО ТЕРРИТОРИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА

AUTOMATIC MOVEMENT CONTROL SYSTEM OF THE SEMI-TRAILER TRUCK FOR MANEUVERING ON THE TERRITORY OF THE DISTRIBUTION CENTER

Рассматривается вопрос разработки электронной системы управления движением седельного автопоезда при перемещении по территории распределительного центра с использованием спутниковых радионавигационных систем. Представлена схема взаимодействия программно-аппаратных частей системы управления. Составлен алгоритм работы контроллера. Проведена оценка работы алгоритма путем испытаний методом имитационного моделирования.

Ключевые слова: седельный автопоезд, GPS, автопилот, распределительный центр, логистика.

The article is devoted to the development of an algorithm for the operation of an electronic control system for the movement of a semi-trailer truck on the territory of a distribution center using satellite-based navigation systems. A diagram of the interaction of software and hardware parts of the control system is presented. The algorithm of the controller has been compiled. The evaluation of the algorithm operation was carried out by simulation method testing.

Keywords: semi-trailer truck, GPS, autopilot, distribution center, logistics.

Стремительное развитие компьютерных технологий оказало существенное влияние на многие сферы жизни человека. Их применение позволило значительно упростить широкий спектр задач, решаемых как в обыденной повседневной деятельности людей, так и в области производства.

Последние 10–15 лет в России происходит стремительный рост спроса на логистические терминалы. Это связано в первую очередь с развитием торговых сетей, а также онлайн и офлайн торговли. Помимо этого, растёт численность подвижного состава в автопарках страны. Так, например, транспортный парк X5 Retail Group за последние 5 лет вырос с 1561 до 4124 автомобилей¹. Каждый распределительный центр ежедневно принимает сотни грузовых автомобилей, в том числе седельных автопоездов.

Управление грузовым автопоездом — достаточно сложная задача и требует высокой квалификации от водительского состава. Основными причинами являются габариты транспортного средства, гибкая связь между тягачом и полуприцепом, а также наличие «слепых» зон. Стоит отметить и сложные условия работы в Санкт-Петербурге: периодическая туманность, короткий световой день (продолжительность дня в Санкт-Петербурге меняется от 5 часов 51 минуты 22 декабря до 18 часов 50 минут 22 июня)².

В связи с этим было предложено автоматизировать процесс движения грузового авто-транспорта по территории распределительного центра. Данная операция включает как перемещение грузовых автомобилей от контрольно-

¹ X5 Retail Group. Годовой отчет. URL: <https://www.x5.ru/ru/Pages/Investors/Reports.aspx> (дата обращения: 15.01.21).

² Федеральное агентство по туризму. Город Санкт-Петербург. URL: https://tourism.gov.ru/contents/turism_v_rossii/regions/severozapadnyy-fo/gorod-sankt-peterburg (дата обращения: 15.01.21).

пропускного пункта к зоне разгрузки, так и подачу полуприцепа задним ходом к перегрузочным рампам. Движение автомобилей каждый раз осуществляется по приблизительно одинаковым траекториям. Это позволяет стандартизировать их и создать базу «идеальных» траекторий для каждого погрузочно-разгрузочного окна (рис. 1).

Следование заданной траектории может быть обеспечено оснащением грузового автомобиля электронной системой управления. Концепция данной системы предполагает, что движение автопоезда происходит в автоматическом режиме, водитель осуществляет только контролируюшую функцию. Анализ литературных источников и существующих технических решений показал, что на данный момент готового продукта на рынке не представлено [1].

Исследование других видов транспорта выявило, что на сегодняшний день такой способ пилотирования активно используется в воздушном и морском транспорте³ [2]. Однако наиболее интересное решение было найдено в сельском хо-

зяйстве. Уже более 10 лет производители тракторов и комбайнов предлагают в качестве дополнительной опции электронную систему следования заданной траектории, которая использует данные спутниковых радионавигационных систем (GPS) [3]. Погрешность позиционирования при использовании RTK-станции достигает $\pm 2,5$ см⁴. Следовательно, подобная система может быть реализована и на грузовом коммерческом транспорте.

Рассмотрим подробнее устройство и основные компоненты. Как и любая электронная система, данная включает три основные группы: измерительные датчики, контроллер, исполнительные устройства. К первой группе относятся следующие элементы:

1. Датчик угла складывания полуприцепа относительно продольной оси тягача представляет собой потенциометрический датчик угла, монтируемый в шкворне полуприцепа⁵.

³ Система точного земледелия (AMS) от John Deere. URL: <https://agroprof.com/uploads/2017/06/Prijomniki%20i%20displei.pdf> (дата обращения: 15.01.21).

⁵ Electronic Trailer Steering. URL: http://www.foma.se/wp-content/uploads/2014/10/ETS_Trailer_ENG_2009.pdf (дата обращения: 15.01.21).

Рис. 1. Траектория движения седельного автопоезда

2. Датчики углов установки колес передней оси тягача.

3. Датчик угла и направления вращения ротора электроусилителя рулевого управления, необходимый для получения обратной связи о работе электроусилителя рулевого управления.

4. GPS-приемник определяет текущее положение автомобиля в плоской системе координат [4].

Поскольку работа системы выполняется в автоматическом режиме, предполагается, что водитель в любой момент времени может вмешаться, например, в случае внештатной ситуации.

После преобразования аналоговых сигналов в цифровые при помощи специального устройства — аналогово-цифрового преобразователя — данные поступают в контроллер, где обрабатываются и вычисляется величина управляющего воздействия, необходимого для компенсации отклонения от заданного курса. Далее полученный сигнал передается исполнительным устройствам через соответствующие электронные блоки управления:

1. Блок управления электромеханического усилителя рулевого управления. Для обеспечения работы системы автоматического вождения необходима установка комбинированного усилителя рулевого управления. Он представляет собой устройство, состоящее из гидравлического и электромеханического усилителей, реализованных в одном корпусе⁶. Данное устройство выполняет подруливающую функцию, компенсируя отклонение от заданного курса.

2. Блок управления двигателем [5]. Обеспечивает функционирование силовой установки и регулирует скорость движения автопоезда. В рамках разрабатываемой системы скорость движения автомобиля фиксированная.

3. Блок управления тормозной системой [5]. Тормозная система обеспечивает торможение автомобиля в ключевых точках.

Важнейшее звено системы — контроллер, который осуществляет функционирование всей системы автоматического управления движением.

⁶ Volvo Dynamic Steering. URL: <https://www.volvotrucks.com/en-lb/trucks/volvo-fh/features/volvo-dynamic-steering.html#> (дата обращения: 15.01.21).

Рис. 2. Схема взаимодействия программно-аппаратных частей системы

ем. В памяти контроллера содержится алгоритм в виде программного кода. Согласно этому алгоритму проводится анализ входных данных, расчет величины отклонения от заданного курса, расчет величины воздействия пропорционально отклонению. Сравнение заданной и фактической траекторий происходит с определенной частотой. Увеличение частоты сверки повышает точность работы системы, однако требует больших вычислительных мощностей.

Алгоритм, записанный в памяти контроллера, содержит ряд зависимостей между входными и выходными параметрами системы, а также математическую модель седельного автопоезда, описанную при помощи дифференциальных уравнений Лагранжа 2-го рода [6, 7].

Схема взаимодействия программно-аппаратных частей системы управления движением автопоезда представлена на рис. 2. Указанная схема описывает все элементы разрабатываемой системы, а также взаимосвязи между ними.

Имитационное моделирование работы данного алгоритма проводилось в программной среде Matlab [8, 9]. В результате была построена траектория движения, по которой фактически движется автомобиль. Полученная траектория стремится к заданной в памяти траектории. Наименьшая величина отклонения наблюдается при движении передним ходом. В случае движения задним ходом отклонение значительно возрастает, что предположительно связано со случайным характером поведения полуприцепа.

Выводы

Применение системы автоматического управления движением седельного автопоезда позволит повысить производительность подвижного состава автопарка, работающего на территории распределительного центра, путем уменьшения времени, затрачиваемого на маневрирование, и снизить нагрузки на водителей. Также это позволит минимизировать вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий. Совершенствование алгоритма работы системы приведет к уменьшению величины отклонения от заданной траектории и соответственно повышению точности ее работы.

Библиографический список

1. Никифоров О. А. Анализ систем помощи при парковке грузового автотранспорта в условиях дефицита визуальной информации // Актуальные проблемы современного строительства: сборник научных трудов студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 ч. / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. СПб.: СПбГАСУ, 2020. Ч. 2. 232 с.
2. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. 4-е изд., перераб. и доп. Одесса: Фенікс, 2017. 328 с.
3. Балабанов В. И., Беленков А. И., Березовский Е. В. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. 117 с.
4. Основы спутниковой навигации. URL: <http://www.tk-chel.ru/download/doc/BasicGPS.pdf> (дата обращения: 15.01.21).
5. Коваленко О. Л. Электронные системы автомобилей. Северный (Арктический) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 80 с.
6. Яблонский А. А. Курс теоретической механики: статика, кинематика, динамика. 14-е изд. испр. М.: ИНТЕГРАЛ-ПРЕСС, 2007. 608 с.
7. Павлюк А. С., Поддубный, В. И., Валекжанин А. И. Моделирование движения шарнирно-соединенной колесной машины в Матлаб-Симулинк // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2008. № 8 (46). 113 с.
8. Щербаков В. С. Моделирование и визуализация движений механических систем в MATLAB. Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. 88 с.
9. Духанов А. В., Медведева О. Н. Имитационное моделирование сложных систем. Владимир: Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2010. 115 с.

References

1. Nikiforov O. A. *Analiz sistem pomoshchi pri parkovke gruzovogo avtotransporta v usloviyakh deficita vizual'noj informatsii* [Analysis of assistance systems for parking trucks in conditions of visual information deficit]. *Trudy studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [In: Coll. of sci. works of students, postgraduates and young scientists "Actual problems of modern construction"]. In 2 parts. St.Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvenniy arkhitekturno-stroitel'niy universitet Publ., 2020, pt. 2, 232 p.
2. Vagushchenko L. L., Tsymbal N. N. *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna* [Systems of automatic ship movement control]. 4-th ed., revised. Odessa, Feniks Publ., 2017, 328 p.

3. Balabanov V. I., Belenkov A. I., Berezovskiy E. V. *Navigacionnye tekhnologii v sel'skom khozyajstve. Koordinatnoe zemledelie* [Navigational technologies in agriculture. Coordinate agriculture]. Moscow, RGAU-MSKhA im. K. A. Timiryazeva Publ., 2013, 117 p.
4. *Osnovy sputnikovoj navigacii* [Basics of Satellite Navigation]. Available at: <http://www.tk-chel.ru/download/doc/BasicGPS.pdf> (accessed: 15.01.21).
5. Kovalenko O. L. *Elektronnye sistemy avtomobiley* [Electronic systems of cars]. Arkhangel'sk, IPC SAFU Publ., 2013, 80 p.
6. Yablonskiy A. A. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki: statika, kinematika, dinamika* [Course of theoretical mechanics: statics, kinematics, dynamics]. 14-th. ed., revised. Moscow, INTEGRAL-PRESS Publ., 2007, 608 p.
7. Pavlyuk A. S., Poddubniy, V. I., Valekzhanin A. I. *Modelirovanie dvizheniya sharnirno-soedinennoj kolesnoj mashiny v Matlab-Simulink* [Modeling of motion of pivotally connected wheeled vehicle in Matlab-Simulink]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2008, no. 8(46), 113 p.
8. Shcherbakov V. S. *Modelirovanie i vizualizaciya dvizheniy mekhanicheskikh sistem v MATLAB* [Modeling and visualization of mechanical systems' movements in MATLAB]. Omsk, SibADI Publ., 2007, 88 p.
9. Dukhanov A. V., Medvedeva O. N. *Imitatsionnoe modelirovanie slozhnykh sistem* [Simulation modeling of complex systems]. Vladimir, Vladim. gos. un-t Publ., 2010, 115 p.