

5. Krishna, V. Siva Embedded System Based Air Pollution Detection in Vehicles / Krishna, V. Siva, S. Arun/ – 2015.
6. Kumar, S. Air quality monitoring system based on IoT using Raspberry Pi. / Kumar, S. and Jasuja A : International Conference on Computing, Communication and Automation/ – P. 1341–1346.
7. Kuncoro A. H., Mellyanawaty M., Sambas A. [at al.] // Journal of Advance Research in Dynamical & Control Systems 12. – 2020. – P. 2473–2479.
8. Gunawan, T. S., Munir Y. M. S., Kartiwi M., Mansor H. // International Journal of Electrical and Computer Engineering 8. – 2018. – P. 280–290.
9. Piedrahita, R. The next generation of low-cost personal air quality sensors for quantitative exposure monitoring / R. Piedrahita [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques. – 2014. Vol. 7 (10). – P. 3325.
10. Kim, Sunyoung inAir: measuring and visualizing indoor air quality / Sunyoung Kim, Eric Paulos : Conference : UbiComp 2009 // Ubiquitous Computing, 11th International Conference, UbiComp 2009, Orlando, Florida, USA, September 30 – October 3, 2009. – DOI:10.1145/1620545.1620557.
11. Al-Dahoud, Ali Monitoring Metropolitan City Air-quality Using Wireless Sensor Nodes based on ARDUINO and XBEE. Ali Al-Dahoud, Mohamed Fezari, Ismail Jannoud [et al.] // New Developments in Circuits, Systems, Signal Processing, Communications and Computers. –2015/ – P. 121–125.
12. WHO. 2016. *Diabetes Fakta dan Angka*. Artikel:<http://www.searo.who.int/indonesia/topic>

УДК 004.415.25

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАЗВОЗА ТОВАРА СО СКЛАДА ПО ТОРГОВОМУ ЗАЛУ БЕСПИЛОТНОЙ ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКОЙ**

*М. Д. Тарасевич, магистрант кафедры автоматизации технологических процессов и производств, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: makstar348@gmail.com*

### **Реферат**

В данной статье рассмотрена автоматизированная система развоза товара со склада по торговому залу беспилотной грузовой тележкой.

Рассмотрены перспективы автоматизации системы развоза товара со склада по торговому залу. Описаны преимущества и недостатки автоматизированной и неавтоматизированной систем. Представлены схема развоза товаров со склада по торговому залу, структура системы автоматического управления и устройство беспилотной грузовой тележки.

**Ключевые слова:** торговый зал, склад, беспилотная тележка, транспортировка, автоматизация, датчик, система управления, мобильный робот, роботизация.

## **AUTOMATED SYSTEM FOR DISTRIBUTION OF GOODS FROM THE WAREHOUSE AROUND THE SALES FLOOR BY AN UNMANNED TROLLEY**

**M. D. Tarasevich**

### **Abstract**

This article discusses an automated system for distributing goods from a warehouse to a sales floor using an unmanned cargo trolley.

The prospects for automating the system for distributing goods from a warehouse to a sales floor are considered. The advantages and disadvantages of automated and manual systems are described. The structure of the automatic control system and the design of an unmanned cargo trolley are presented.

**Keywords:** sales floor, warehouse, unmanned cart, transportation, automation, sensor, control system, mobile robot, robotization.

## **Введение**

Стремительный рост электронной коммерции и увеличение объемов продаж в розничной торговле создают потребность в эффективных и надежных системах развоза товаров. Традиционные методы, такие как ручной развоз или использование вилочных погрузчиков, могут быть неэффективными и ограниченными в больших магазинах или складских комплексах.

Автоматизированные системы развоза товаров играют все более важную роль в современном бизнесе, особенно в области розничной торговли. Одной из наиболее перспективных технологий в этой области являются беспилотные грузовые тележки [1–3]. Эти инновационные устройства обладают возможностью автономного перемещения и доставки товаров без прямого участия человека.

В статье рассмотрена автоматизированная система развоза товара со склада по торговому залу беспилотной грузовой тележкой. Рассмотрена система управления, проведен анализ эффективности и безопасности такой системы.

## **Перспективы автоматизации системы развоза товара со склада по торговому залу**

В современном мире доставка товаров играет ключевую роль в успешной операции снабжения и удовлетворении потребностей клиентов, особенно в сфере розничной торговли, где эффективная доставка товаров со склада в магазин является необходимым условием для обеспечения непрерывного пополнения товарных запасов и удовлетворения спроса потребителей. Однако существующие методы доставки, особенно в условиях ограниченного пространства внутри магазинов, могут быть трудоемкими и подверженными риску ошибок и задержек.

Сегодня этот процесс традиционно включает ручную загрузку товаров на транспортное средство, его перемещение к месту назначения и выгрузку товаров с последующим их распределением на полках магазина. Система обычной доставки товаров со склада в магазин представляет собой последовательность ручных операций, осуществляемых сотрудниками склада и магазина.

Обычная система доставки товаров требует значительных усилий и внимательности со стороны сотрудников склада и магазина. Возможны ошибки при загрузке, неправильное размещение товаров на тележке, потери времени на перемещение и физическую работу, а также риск повреждения товаров в процессе доставки. Автоматизация этого процесса позволит снизить нагрузку на сотрудников, улучшить точность и эффективность доставки товаров, а также повысить безопасность и качество процесса доставки, снизить риски повреждения и оптимизировать использование ресурсов. Однако, необходимо учитывать потенциальные проблемы и риски, связанные с техническими сбоями и безопасностью данных, а также предусмотреть обучение персонала для успешной реализации автоматизированной системы доставки.

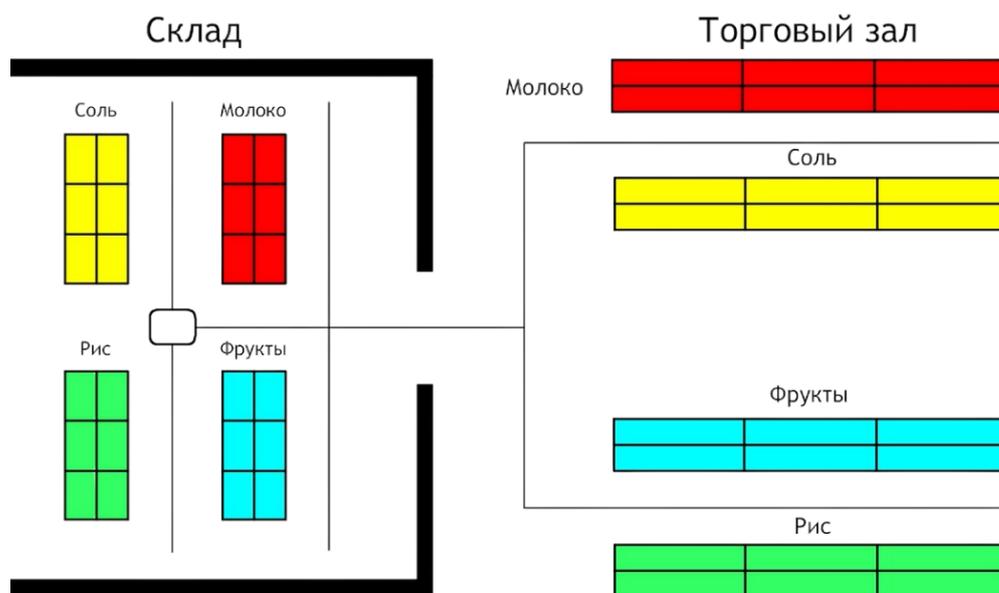
Автоматизация позволит сократить время доставки, улучшить планирование и координацию задач, а также увеличить пропускную способность процесса доставки. Автоматизированная система позволяет точно отслеживать и контролировать движение товаров от склада до магазина, предотвращая потери, повреждения или неправильную отгрузку. Благодаря использованию современных технологий, таких как считывание штрих-кодов или RFID-меток, можно обеспечить автоматическое распознавание товаров и учет их перемещения.

Разработка автоматизированной системы доставки обосновывается также снижением затрат и увеличением общей эффективности процесса. Автоматизация позволяет сократить трудозатраты и операционные расходы, связанные с ручной доставкой товаров. Это может включать сокращение численности персонала, оптимизацию использования складских ресурсов и снижение потерь или повреждений товаров. В результате доставка товаров становится более экономически выгодной и эффективной.

Автоматизация процесса доставки способствует улучшению качества обслуживания клиентов. Благодаря более точному учету товаров и сокращению времени доставки, можно снизить вероятность ошибок при отгрузке и улучшить доступность товаров для покупателей. Кроме того, автоматизированная система позволяет предоставлять клиентам более точную информацию о статусе доставки и предсказывать сроки поставок, что повышает уровень удовлетворенности покупателей.

Таким образом, основываясь на оптимизации процесса доставки, увеличении точности и надежности, снижении затрат и увеличении эффективности, а также улучшении качества обслуживания, можно сделать вывод о необходимости разработки автоматизированной системы доставки товара со склада в магазин беспилотной грузовой тележкой.

Схема развоза товаров со склада по торговому залу беспилотной грузовой тележкой представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема развоза товаров со склада по торговому залу беспилотной грузовой тележкой**

## Беспилотные грузовые тележки: характеристики и управление

Беспилотные транспортные средства в последние два десятилетия занимают существенную нишу в технологическом развитии общества. Разработаны беспилотные автомобили, которые в нынешнее время проходят тестирование на автомагистралях. В Британии, Сингапуре и Китае разрешены перевозки пассажиров такими транспортными средствами. Крупнейшая пивоваренная компания AB InBev начала использовать беспилотные грузовики.

Беспилотные тележки разделяются на два типа: с компьютерным зрением и без него. Разработка транспорта с компьютерным зрением довольно затратная в плане рабочего персонала и в плане денег. Сами тележки имеют в себе программное обеспечение, в которое входит нейросеть, вычисляющая траекторию пути и обеспечивающая безопасность окружающих.

Беспилотная тележка (AGV – Automatic guided vehicle) – транспортер с электроприводом, предназначенный для перемещения грузов. Тележка автоматическая, следовательно, для управления тележкой не требуется отдельный оператор – они двигаются по заданной траектории в автоматическом режиме без участия человека [4].

Беспилотная грузовая тележка, разработанная студентами БрГТУ и изготовленная на предприятии ООО «Фина» (рисунок 2), снабжена всеми необходимыми системами и элементами безопасности, может эксплуатироваться на вредных или опасных производствах, в местах скопления людей и других движущихся тележек [5, 6]. Имеется патент [7].

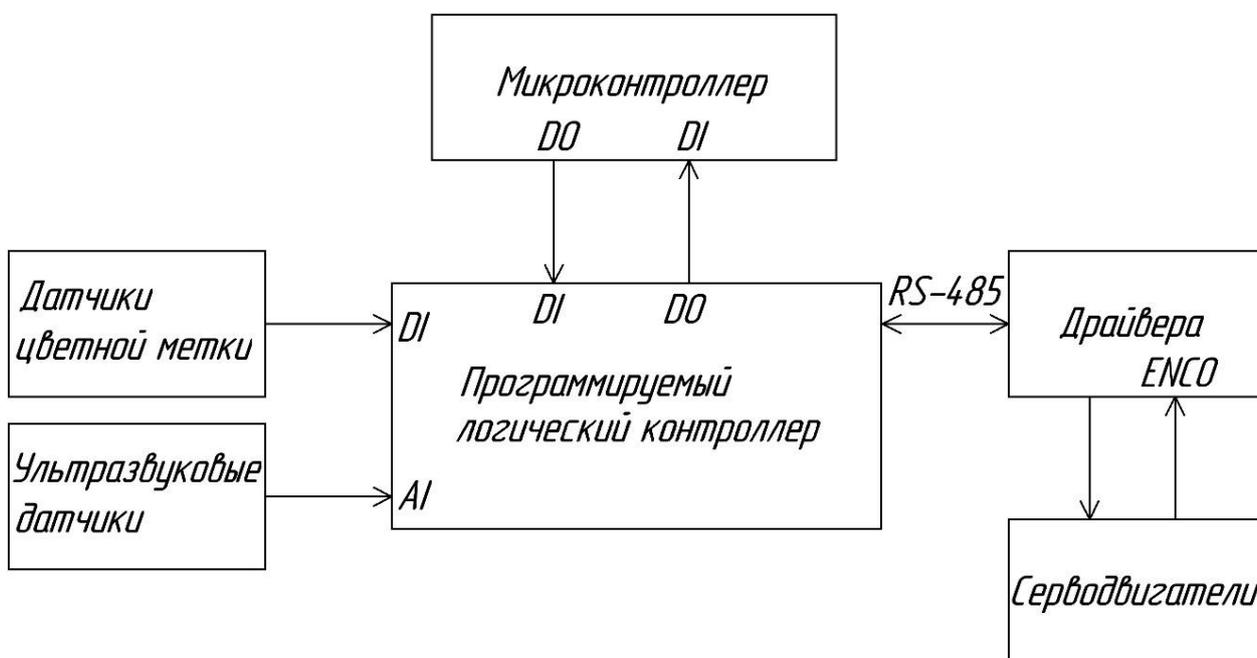


*Рисунок 2 – Беспилотная грузовая тележка*

Основные технические характеристики:

- 1) грузоподъемность – до 150 кг;
- 2) средняя скорость движения – 5 км/час, максимальная – 10 км/час;
- 3) заряд аккумуляторов рассчитан на двухсменную, непрерывную работу;
- 4) время заряда аккумуляторов – 8–12 часов.

Рассмотрим предполагаемую структурную схему системы автоматического управления беспилотной грузовой тележкой (рисунок 3).



*Рисунок 3 – Структурная схема системы автоматического управления*

Микроконтроллер, связанный с сервером склада, подает дискретные сигналы на программируемый логический контроллер и получает дискретные сигналы обратной связи. Программируемый логический контроллер, в свою очередь, связан с драйверами серводвигателей по интерфейсу RS-485. К драйверам подключены серводвигатели, а обратная связь осуществляется при помощи встроенных в серводвигатели энкодеров (датчиков угла поворота). Также к программируемому логическому контроллеру подключены датчики цветной метки и ультразвуковые датчики.

### **Устройство беспилотной грузовой тележки**

**Каркас.** Каркас является основанием для крепления всех устройств беспилотной тележки. Каркас должен быть разработан с учетом максимальной массы перевозимого груза. При этом каркас должен быть легким по массе для уменьшения нагрузки на приводную систему, а следовательно, для увеличения автономности работы и срока службы батарей.

**Встроенный контроллер.** Уровень интеллекта тележки зависит от производительности встроенного контроллера и заложенного в него программного обеспечения. Базовая схема тележки использует микроконтроллер или ПЛК для выполнения задач сбора данных с датчиков, связи с центральной системой управления и контроля над приводной системой тележки. В некоторых продвинутых схемах используется производительный ARM-чип, выполняющий операционную систему роботов (ROS) для решения этих задач. Контроллер, а также цепи управления должны быть защищены от электромагнитных помех, наводимых как внешней средой (например, излучение от систем и оборудования предприятия), так и внутренней (например, приводная система тележки).

**Сенсоры и оборудование навигации.** Типы датчиков, которыми оснащены тележки, зависят от подхода к навигации. Ультразвуковые датчики используются для обнаружения ближних препятствий, инфракрасные – направляющей линии, электромагнитные – электрических проводов. Камеры можно использовать

для захвата меток с QR-кодом. Модули RFID можно использовать для считывания RFID-меток. Лазерный сканер используется для обнаружения окружающих препятствий и рефлекторов. Некоторые интеллектуальные схемы, используемые для навигации лазерный сканер или камеру глубины, не зависят от какого-либо оборудования навигации (рефлекторов, магнитных дорожек и др.).

Устройства связи. Тележка нуждается в беспроводной связи, поэтому обычно используется WLAN с MIMO-антенной, имеющий высокий стандарт конструкции с электромагнитной совместимостью, что очень важно в случае взаимодействия тележки с центральной системой управления предприятием, технологическим оборудованием, а также пунктами сбора статистической информации. Технология 5G применяется на беспилотных тележках производства Ericsson и China Mobile, обеспечивая более высокую надежность и безопасность.

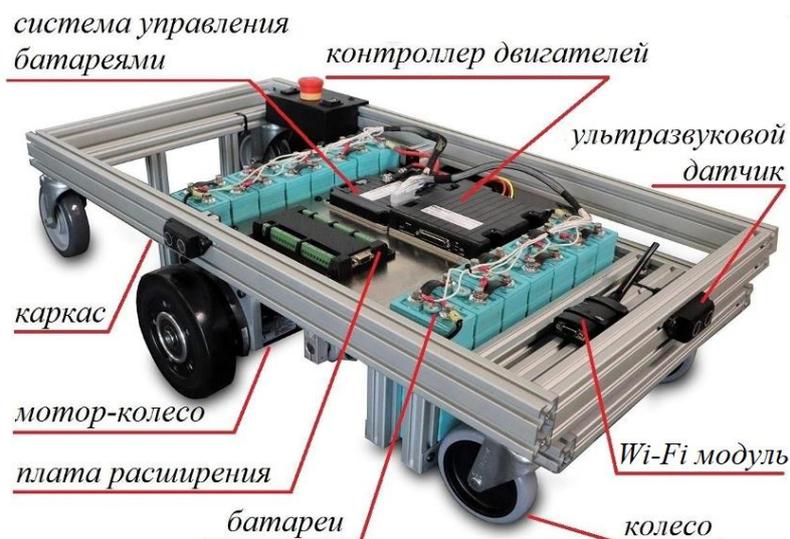
Батарея. В беспилотных тележках можно использовать различные типы батарей, включая свинцово-кислотные с жидким электролитом (WET), никель-кадмиевые (Ni-Cd), литий-ионные (Li-Ion) и свинцово-гелевые (GEL). В основном используется Li-Ion из-за своих малых размеров, низкого саморазряда, высокой плотности энергии. WET батарея имеет более низкую стоимость, чем Li-Ion, также она довольно тяжелая, что может быть использовано для противовеса вилочного погрузчика. Недостатки WET батареи – медленная зарядка и создание газа при ней. GEL и Li-Ion батареи заряжаются быстрее и более экологичны, не выделяют газов, но требуют обслуживания.

Двигатель. Двигатель тележки обычно устанавливается с энкодером с целью расчета и предоставления информации о пройденном пути. Типы двигателя, которые используются в тележке: мотор-редуктор постоянного тока, бесщеточный двигатель постоянного тока, серводвигатель. Эти двигатели выбираются на основе их влияния на гибкость и точность перемещения беспилотной тележки.

Тип привода. Тип привода делится на одноколесный, дифференциальный и всенаправленный. Одноколесный привод означает, что ведущее колесо имеет функцию рулевого управления, а два ведомых колеса установлены неподвижно. Дифференциальный привод имеет два ведущих колеса, которые используют разницу скоростей для реализации поворота. Всенаправленный привод гораздо более гибкий, благодаря ему тележка способна двигаться в любом направлении без необходимости поворота.

Центральная система управления. Она отвечает за планирование задач, управление движением, планирование маршрута, автоматическую зарядку, отправку управляющих сигналов, получение данных о состоянии и некоторые другие функции. Данные о состоянии обычно включают положение в пространстве, скорость, оставшуюся емкость батареи и др. Она анализирует все эти данные, чтобы назначить тележке новые рабочие задачи, выработать наиболее разумный маршрут и последовательность действий, предотвратить несчастные случаи при столкновении, предписать тележке двигаться к зарядной станции при низком заряде батареи. В состав ЦСУ входят средства человеко-машинного интерфейса, такие как сигнальная и управляющая аппаратура, панели оператора, переключатели безопасности и аварийного останова.

Один из вариантов устройства беспилотной грузовой тележки приведен на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Устройство беспилотной грузовой тележки**

### **Заключение**

В целом следует резюмировать, что беспилотный транспорт представляет собой инновационную и перспективную область развития, однако для его успешного внедрения необходимо решить ряд существующих проблем и вызовов. Работа над улучшением безопасности, разработка новых типов управления позволит создать благоприятные условия для развития беспилотного транспорта и его успешного использования в различных отраслях экономики [8–10].

Внедрив описанную в статье систему, можно улучшить процесс доставки товаров со склада в магазин, то есть упростить доставку товара, уменьшить время доставки, уменьшить нагрузку на персонал, увеличить продуктивность работы склада. Внедрение системы позволит оптимизировать работу склада и магазина. Таким образом, система обладает высоким потенциалом и может быть эффективно применена для решения задач доставки товаров со склада.

### **Список цитированных источников**

1. Шуть, В. Н. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы / В. Н. Шуть, Л. Персия. – Брест : БрГТУ, 2017. – 230 с.
2. Пегин, П. А. Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем / П. А. Пегин, Д. В. Капский, В. В. Касьяник, В. Н. Шуть // СПб. : СПбГА-СУ, 2019. – 198 с.
3. Шуть, В. Н. Интеллектуальная грузовая беспилотная тележка / В. Н. Шуть, Е. В. Василюк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы 12 междунар. конф., посвящ. 160-летию белорусской железной дороги, Гомель, 24–25 нояб. 2022 г. ; в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорусский гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 89–90.
4. Патент на полезную модель ВУ12995, Респ. Беларусь, МПК G01C21/04 / Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении : № и 20220011; заявл. 14.01.2022; опубл. 01.08.2022 / В. Н. Шуть, Н. У. Ляшук, И. В. Колядич, Е. В. Василюк, Я. О. Заречный, А. О. Заречный, Н. С. Монтик, А. В. Бойко, И. С. Николайчик; заявитель и патентообладатель ООО «Фина» – 11 с.
5. Ляшук, Н. У. Транспортировка продукции на технологических линиях мясозировых производств / Н. У. Ляшук, В. Н. Шуть, Е. В. Василюк [и др.] // Мясная индустрия. – 2021. – № 11. – С. 8–12.

6. Ляшук, Н. У. Применение беспилотных транспортных тележек в технологических линиях мясозировых производств / Н. У. Ляшук, В. Н. Шуть, Е. В. Василюк / Мясные технологии. – 2022. – № 10. – С. 42–46.

7. Патент на полезную модель BY13516, Республика Беларусь, МПК G01C21/04 / Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении : № u 20240002; заявл. 03.01.2024; опубл. 01.07.2024 // В. Н. Шуть, Е. В. Василюк, И. С. Туз, М. Д. Тарасевич, Е. В. Швецова; заявитель и патентообладатель Брестский гос. технич. ун-тет. – 11 с.

8. Shuts, Vasili Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport / Vasili Shuts, Valery Kasyanik // Transport and Telecommunication. – 2011. – V. 12, No 4. – P. 52–60.

9. Пролиско, Е. Е. Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных информационных технологий / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть : сб. научн. трудов по мат. междунар. заочной научно-практич. конф. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, Воронеж, 2016 г. – Воронеж : ВГЛУ, 2016, Т. 4, № 5, ч. 3 – С. 336–341.

10. Пролиско Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть : материалы науч.-технич. конф. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы», Брест, 25–28 мая 2016 г. – Брест : БрГТУ, 2016 – С. 49–54.

## References

1. Shut' V.N., Persia Luka. Intellektual'nye robototekhnicheskie transportnye sistemy / V.N. Shut', L. Persia - Brest: Izdatel'stvo UO «BrGTU», 2017. – 230s. – ISBN 978-985-6744-41-2.

2. Pegin, P.A. Sovremennye tendencii razvitiya bortovyh intellektual'nyh transportnyh sistem / P.A. Pegin, D.V. Kapskij, V.V. Kas'janik, V.N. Shut' // SPb : SPbGASU, 2019. – 198s.

3. V. N. Shut', E. V. Vasiljuk // Intellektual'naja gruzovaja bespilotnaja telezhka // Problemy bezopasnosti na transporte : Materialy 12 mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennoj 160-letiju belorusskoj zheleznoj dorogi, Gomel', 24 – 25 nojabrja. 2022 g. V 2 ch / M-vo tranp. i kommunikacij Resp. Belarus', Bel. zh. d, Belorus. gos. un-t transp. ; Pod obshh. red.: Ju. I. Kulazhenko. – Gomel' : BelGUT, 2022. – S. 89-90.

4. Patent na poleznuju model' BY12995, Respublika Belarus', MPK G01C21/04 / Ustrojstvo orientacii i navigacii telezhki mobil'nogo robota pri ego peremeshhenii po gorizontальной poverhnosti v zadannom pomeshhenii // V. N. Shut', N. U. Ljashuk, I. V. Koljadich, E. V. Vasiljuk, Ja. O. Zarechnyj, A. O. Zarechnyj, N. S. Montik, A. V. Bojko, I. S. Nikolajchik, zajavitel' i patentoobladatel' OOO «Fina» – № u 20220011; zajavl. 14.01.2022; opubl. 01.08.2022 – 11 s.

5. N. U. Ljashuk, V. N. Shut', E. V. Vasiljuk, I. S. Nikolajchik, V. R. Lazaruk // Transportirovka produkcii na tehnologicheskikh linijah mjasozhirovых производств // Mjasnaja industrija. – 2021. – № 11. – S. 8–12.

6. N. U. Ljashuk, V. N. Shut', E. V. Vasiljuk, A. O. Zarechnyj, A. L. Mihnjaev, D. V. Krupko, E. V. Shvecova // Primenenie bespilotnyh transportnyh telezhok v tehnologicheskikh linijah mjasozhirovых производств // Mjasnye tehnologii. – 2022. – № 10. – S. 42-46.

7. Patent na poleznuju model' BY13516, Respublika Belarus', MPK G01C21/04 / Ustrojstvo orientacii i navigacii telezhki mobil'nogo robota pri ego peremeshhenii po gorizontальной poverhnosti v zadannom pomeshhenii // V. N. Shut', E. V. Vasiljuk, I.S.Tuz, M.D.Tarasevich, E.V.Shvecova, zajavitel' i patentoobladatel' Uchrezhdenie obrazovanija «Brestskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet» – № u 20240002; zajavl. 03.01.2024; opubl. 01.07.2024 – 11 s.

8. Vasili Shuts, Valery Kasyanik. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport. // Transport and Telecommunication. – 2011. – V. 12, No 4. – R. 52-60.

9. Prolisko E.E., Shut' V.N. Vysokoproizvoditel'nyj vid gorodskogo passazhirskogo transporta na baze sovremennyh informacionnyh tehnologij / Sb. nauchn. trudov po mat. mezhdunar. zaочноj nauchno-praktich. konf. «Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika», Voronezh, 2016 g. – Voronezh : VGLTU, 2016, t. 4, № 5, ch. 3 – s. 336-341.

10. Prolisko E.E., Shut' V.N. Dinamicheskaja model' raboty transportnoj sistemy «INFOBUS» / Materialy nauchno-tehnicheskoi konferencii «Iskusstvennyj intellekt. Intellektual'nye transportnye sistemy». Brest, Belarus', 25-28 maja 2016 g. – Brest : «BrGTU», 2016 – s. 49-54.