

БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА AGV: КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ МЯСОПЕРЕРАБОТКИ

Литвинович А. Н.¹, Голуб В. М.¹, Чучко А. В.²

1) Брестский государственный технический университет;

г. Брест, Республика Беларусь

2) ООО «Машиностроительное предприятие «Компо»;

г. Брест, Республика Беларусь

Введение

Транспортное средство AGV (automated guided vehicle) – это программируемый мобильный робот, который может автоматически ориентироваться в окружающей обстановке и в зависимости от этого осуществлять движение по запланированному маршруту. Применение данного робота существенно снижает трудоемкость, повышает производительность и уменьшает материальные и нематериальные издержки производства, улучшает показатели безопасности в сравнении с ручным и механизированным трудом.

1. Конструктивные особенности AGV

В соответствии с конструктивным исполнением AGV можно разделить на четыре категории:

– *AGV для единичных грузов*: имеет платформу или контейнер для перевозки поддонов, стеллажей, рулонов или многих других видов грузов. Некоторые из платформ имеют механизм подъема и опускания, а также ролики для облегчения загрузки/выгрузки перевозимого груза;

– *автоматический вилочный погрузчик*: специализируется на перевозке грузов на поддонах. Некоторые из них способны поднимать груз, при этом другие могут перевозить грузы только на уровне пола;

– *AGV-тягач* – это буксировочная машина, которая может тянуть прицепы, как правило, имеющие большую массу;

– *гибридный AGV* – это транспортное средство, которое может выполнять операции как в автоматическом, так и в ручном режимах.

Составные части и конструкции

В основном данный робот состоит из следующих основных частей (см. рисунок 1): каркаса, встроенного контроллера, электрических приводов и систем их управления, датчиков ориентации в пространстве и предупреждения об опасном сближении с препятствиями, устройств беспроводной связи, аккумуляторных батарей, приспособлений для транспортирования грузов.

Каркас транспортного средства

Каркас является основанием для крепления всех устройств AGV. 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 AGV зависит от производительности встроенного контроллера и заложенного в него программного обеспечения. Базовая схема AGV использует микроконтроллер или ПЛК для выполнения задач сбора данных с датчиков, связи с центральной системой управления и контроля над приводной системой AGV. 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).

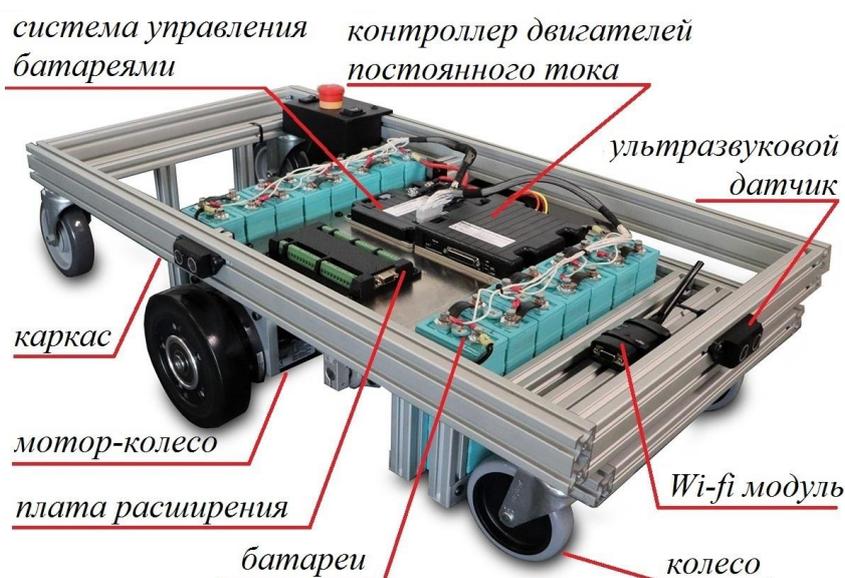


Рисунок 1 – Составные части AGV

Сенсоры и оборудование навигации

Типы датчиков, которыми оснащены AGV, 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, использующие для навигации лазерный сканер или камеру глубины, не зависят от какого-либо оборудования навигации (рефлекторов, магнитных дорожек и др.).

Устройство связи

AGV 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 AGV производства Ericsson и China Mobile, обеспечивая более высокую надежность и безопасность.

Батарея

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

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 AGV способен двигаться в любом направлении без необходимости поворота.

Центральная система управления (ЦСУ)

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 AGV новые рабочие задачи, выработать наиболее разумный маршрут и последовательность действий, предотвратить несчастные случаи при столкновении, предписать AGV 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.

Зарядная станция

Известно четыре способа организации зарядки: ручная замена батареи, автоматическая замена батареи, автоматическая зарядка и периодическая подзарядка. Метод замены батареи требует меньше времени простоя, но требует дополнительного количества батарей для замены. Автоматическая замена батареи экономически эффективнее, чем ручная, если количество AGV велико. Для автоматической зарядки требуется батарея большой емкости, потому что батарея не будет заряжаться до тех пор, пока AGV не завершит рабочий цикл в течение всего дня. Тем не менее, зарядка с коротким временем простоя разрешается для периодической подзарядки.

Методы навигации AGV

Навигация по проводам

Электромагнитная навигация – способ, при котором электрические провода с протекающим низкочастотным током закладываются под пол, для их обнаружения используется электромагнитный датчик. Скрытые провода весьма долговечны, т. к. не подвержены влиянию грязи и света. Следовательно, это надежный подход к навигации, но он целесообразен при электромагнитных помехах, также дорого изменить или расширить маршрут.

Навигация по магнитной ленте

Направление AGV по магнитной ленте, размещенной на поверхности пола. Он имеет похожий принцип с навигацией по проводам, но он гораздо проще и экономичнее в прокладке, но требует затрат на обслуживание, потому что ленту легко повредить.

Навигация по магнитным маркерам и инерционная навигация

Магнитные штыри встроены в пол в качестве контрольных точек, которые могут быть обнаружены электромагнитным датчиком. Это обычно дополняется инерциальной навигацией – автономной системой, в которой измерения акселерометров и гироскопов используются для отслеживания и ориентации AGV относительно известной точки. AGV использует энкодеры, установленные на двигателях и инерциальную навигацию для перемещения от одной точки к другой. Данный метод подходит почти для всех видов сред, кроме металлического пола.

Навигация по QR-код меткам

Метки QR-кода на полу и стеллажах могут быть захвачены камерами, установленными на AGV для навигации. AGV использует обратную связь от QR-кода, энкодера и гироскопа для определения своего местоположения, но QR-код метка недолговечна, поэтому требует обслуживания.

Оптическая навигация по дорожке

Этот метод похож на навигацию по магнитной ленте, но в нем AGV направляется по цветным линиям на полу. Камеры и функция обработки изображений необходимы для распознавания линий. Этот метод отличается высокой устойчивостью к электромагнитным помехам.

Лазерная навигация по рефлекторам (отражателям)

Рефлекторы монтируют вокруг рабочего пространства AGV. Лазерный сканер излучает лучи и принимает отраженный свет от любых препятствий, кроме отражающих панелей. Микроконтроллер на AGV может рассчитать позицию после сбора данных о расстоянии и угле пересечения нескольких отражателей. Относительно гибкий план траектории может быть легко изменен без остановки отражателей, но метод может потерять эффективность и точность, если рефлекторы будут закрыты препятствиями.

Лазерная SLAM навигация

Технология одновременной локализации и картографирования (SLAM) – это вычислительная схема построения или обновления карты неизвестного пространства с одновременным отслеживанием местоположения AGV в ее пределах. Этот подход отличается высокой гибкостью и не требует какой-либо искусственной инфраструктуры управления. Он также обычно используется вместе с инерциальной навигацией, но точность ниже, чем у лазерной навигации по рефлекторам.

2. Примеры применения беспилотных тележек

Складирование и логистика

Складская и логистическая отрасли являются самым ранним практическим использованием AGV. Примером использования систем AGV является «Амазон» – крупнейший интернет-магазин, внедривший десятки тысяч AGV под названием Kiva на 10 американских складах для погрузочно-разгрузочных работ. Другое крупное логистическое предприятие, называемое Cainiao, построило крупнейший роботизированный распределительный центр в Китае в 2018 г. 350 AGV роботов работают весь день на складе площадью 2000 м², ежедневно распределяя более 500000 посылок.

Промышленные предприятия

«Вольво» развернуло сборочную систему, в которой в качестве перевозчиков использовались 250 управляемых компьютерами AGV. В результате количество отказов при сборке и время окупаемости инвестиций значительно сократились. Также AGV применяются на заводах GM, Toyota, Chrysler, Volkswagen, АвтоВАЗ и др.

Учреждения бюджетной сферы

Гибкость является наиболее важной характеристикой в таких областях как библиотека, больница и аэропорт. Например, в больницах AGV используются для осуществления медицинского обслуживания (развоз еды, лекарств, сбор медицинских и биологических отходов).

Применение на опасных объектах

AGV используется в опасных для нахождения человека местах, например, на атомных электростанциях для обращения с радиоактивными материалами и отработанным ядерным топливом с целью безопасной и правильной их утилизации.

Применение в мясной промышленности

Наиболее ярким примером применения AGV тележек является роботизированный завод по производству сырокопченых колбас группы «Черкизово». У данного завода нет аналогов ни в России, ни в Европе. Инвестиции в проект составили 7 млрд рублей. Основное оборудование поставлено из европейских стран. Весь технологический процесс выполняют роботы. На данном заводе работает всего 200 человек вместо 700, которые обычно требуются для предприятий такого масштаба. Мощность предприятия – 80 т готовой продукции в сутки, или до 30 тыс. т в год.



Рисунок 2 – AGV тележка фирмы TescoFerrari (Италия)

Предприятие «Кашира-1» функционирует под управлением комплекса ERP и MES-системы на базе единой платформы SAP S4/HANA. Работают контуры MES, управление производством, логистикой и финансами. Также функционирует система управления техническим обслуживанием и ремонтами (на базе SAP PM). Связующим звеном между ERP-системой и оборудованием является MES-система от чешской Sabris (на базе SAP S4/HANA). Интерфейсом между MES и оборудованием выступают SCADA-системы.

AGV тележки (см. рисунок 2) применяются для перевозки колбасных рам в камеры ферментации на 4–5 дней, после чего те же самые роботы перемещают их в камеры сушки, где они находятся еще 15–20 дней. При этом роботы каждый день навешают рамы в термокамерах, чтобы взвесить их и зафиксировать изменения веса. Отслеживая уменьшение веса при сушке, можно судить о том, насколько правильно и качественно идет процесс «созревания» колбасы. Полученная роботами информация передается в ПО SAP, которое управляет производственными процессами, и, в том числе на основании этих данных, принимается решение о готовности колбасы. На «обычном» колбасном заводе решение о готовности колбасы, как правило, принимается на основании взвешивания только одной рамы: считается, что остальные рамы усредненно весят столько же.

3. Рекомендации для мясопереработки

Применение AGV тележки для автоматизации перемещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции между участками существенно улучшает как технологические, так и экономические показатели производства.

Беспилотное транспортное средство должно соответствовать всем требованиям санитарных норм для мясопереработки. В связи с этим для изготовления корпуса необходимо применять нержавеющей стали (например, 08X18H10) из-за частой санитарной обработки и высокой влажности. Для предотвращения попадания влаги и пыли в электрооборудование следует обеспечить степень защиты корпуса IP 68.

Рекомендуется применение дифференциального привода из-за его устойчивости, по сравнению с одноколесным. Всенаправленный привод нецелесообразен, т. к., во-первых, не требуется движение во всех направлениях без разворота, во-вторых, при движении по прямой линии у него высокое потребление энергии из-за особой конструкции колес. Также, при проектировании привода следует учитывать особенности пола цеха (материал покрытия, уклоны, характеристики сцепления колес в мокрой среде с возможным наличием фарша).

Особое внимание при проектировании беспилотной тележки следует уделять системам навигации, т. к. не все из них подходят для условий мяскокомбинатов. Например, лазерные датчики могут некорректно работать из-за большого количества оборудования из нержавеющей стали, которая, в свою очередь, может выступать в качестве рефлектора. Применение навигации по проводам и магнитной ленте нежелательно, т. к. возникают сложности при изменении маршрута и имеется риск быстрого износа ленты. Рекомендуется применение ультразвуковых датчиков, RFID-модулей и оптической навигации по дорожке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Moshayedi, A. J. AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance / A. J. Moshayedi, L. Jinsong, L. Liao // Journal of

Simulation and Analysis Novel Technologies in Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 12, № 4. – P. 5–18.

2. Коноваленко, Л. Ю. Применение робототехники в мясной промышленности: аналит. обзор / Л. Ю. Коноваленко, Н. П. Мишуков, М. А. Никитина. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 80 с.

3. Первый в российской мясопереработке завод-робот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meat-expert.ru/news/2787-pervyyu-v-rossiyskoy-myasopererabotke-zavod-robot-video>. – Дата доступа: 25.09.2022.

УДК 621.833.61

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЁТЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС С ПОМОЩЬЮ SOLIDWORKS SIMULATION

Логвин А. И., Ковпанько В. А., Онысько С. Р., Бочарова Н. В.

Брестский государственный технический университет

г. Брест, Республика Беларусь

Современные системы инженерного анализа (совокупность исследований) – предназначены для проверки работоспособности проектируемых изделий, различных эксплуатационных характеристик (анализа частоты, расчет устойчивости, усталости, испытаний на ударную нагрузку, анализа оптимизации и др.), что позволяет с минимальными затратами времени сопоставить ряд различных альтернативных конструкторских решений [1].

В данной работе объектом исследования является твердотельная параметрическая модель механической системы «Планетарная передача» (рисунок 1). Это механическая передача вращательного движения, которая за счет своей конструкции способна в пределах одной геометрической оси вращения изменять, складывать и раскладывать подводимые угловые скорости и/или крутящий момент.

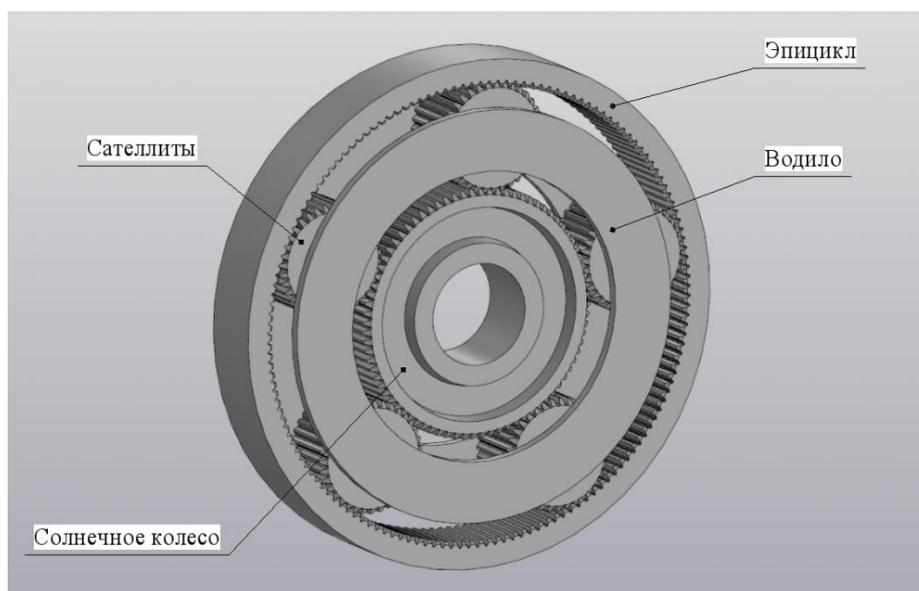


Рисунок 1 – Сборочная модель планетарной передачи