

Рапаков Г.Г.¹, кандидат технических наук, доцент;

Шушков Р.А.², кандидат технических наук, доцент,

Осипов А.Н.²; Холопов Д.И.¹

¹ *ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»,*

г. Вологда, Российская Федерация

² *ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», г. Вологда, Российская Федерация*

РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАВЕСНЫМИ ОРУДИЯМИ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО АГРОРОБОТА

Аннотация. В публикации предложена система радиуправления для шнекового орудия, установленного на автономный мобильный агробот.

Abstract. The aim of this study is to develop a radio control system for an auger mounted on an autonomous mobile agrobot.

Ключевые слова: автономный мобильный агробот, система радиуправления, сельскохозяйственные навесные орудия, шнек.

Keywords: autonomous mobile agrobot, radio control system, mounted agricultural tools, auger.

Введение.

Ключевая проблема отрасли и АПК региона – это растущий дефицит рабочей силы и высокая стоимость ручного труда, которую необходимо преодолевать в условиях санкционного давления на основе импортозамещения зарубежных технологических решений с привлечением экономически эффективных проектных результатов. Мировой рынок сельскохозяйственных роботов демонстрирует устойчивый рост. Доля решений для автоматизации технологических операций занимает его значительную часть [1]. Разработка системы радиуправления навесными орудиями для мобильного агробота является актуальной научно-технической задачей, способствующей дешевой автоматизации малых хозяйств с использованием безопасного дистанционного управления.

Цель работы.

Цель работы: разработка дистанционной системы управления навесным орудием – шнековым механизмом для автономного мобильного агробота (АМР). АМР используется как беспилотное наземное транспортное средство для перевозки грузов, подталкивания корма и обработки посевов при помощи комплекта навесного и прицепного оборудования. Научная новизна работы определяется совокупностью следующих значимых результатов: получены новые экспериментальные данные о влиянии электромагнитных помех шнекового привода на качество радиосвязи в диапазоне 2,4 ГГц; обеспечена электромагнитная совместимость системы

радиоуправления шнековым орудием, работающим в непосредственной близости от электродвигателя; разработаны алгоритмы адаптивного управления обмена данными между пультом оператора и бортовым контроллером. Практическая значимость результатов исследования обусловлена универсальностью применения шнековых механизмов для сельскохозяйственных машин, что делает разработку востребованной широким кругом хозяйств [2].

Материалы и методика исследования.

Проведенный анализ существующих решений позволил ознакомиться с основными подходами и методами использования систем радиоуправления для сельскохозяйственных мобильных роботов [3-5]. Объект исследования: система адаптивного радиоуправления шнековым орудием беспилотной мобильной сельскохозяйственной платформы. Предмет исследования: алгоритмы и методы, количественные характеристики функционирования системы радиоуправления шнековым механизмом АМР, а также методы обеспечения ее помехоустойчивости и безопасности.

Результаты исследования и их обсуждение.

Рассмотренные архитектурные подходы к построению системы управления позволили остановиться на модульном принципе с базовым микроконтроллером (МК) ESP32, аппаратурой управления и исполнительным механизмом. Выбор МК определяется необходимостью обработки данных с датчиков, управления приводами и обеспечения связи. Для навесного орудия в виде шнека должны поддерживаться следующие операции: включение/ выключение; регулировка направления и скорости вращения; контроль функционирования с обратной связью и аварийная остановка. Предложенная архитектура и выработанные рекомендации могут служить основой для создания прототипа системы дистанционного управления с последующей адаптацией под конкретные типы навесных орудий и условия эксплуатации.

Для построения бортовой системы управления шнековым орудием в качестве главного микроконтроллера использован ESP32. МК принимает сигналы от приемника и управляет исполнительными механизмами: двигателем шнека с драйвером и сервоприводом. Для открытых проектов часто используется прямой метод считывания каналов как наиболее надежный и простой в реализации. Сигналы с каналов приемника представляют собой ШИМ-импульсы (Pulse Width Modulation – PWM). Информативным параметром является длительность положительного импульса. Алгоритм считывания на ESP32 использует аппаратные прерывания, чтобы точно замерить длительность импульса. Метод обеспечивает: низкую задержку; высокую точность; не блокирует выполнение сопутствующих задач; прямое подключение не требует дополнительных преобразователей; прост при отладке.

В качестве пульта оператора выбран доступный, надежный и функциональный 6-канальный радиопередатчик частотного диапазона 2,4 ГГц – FlySky FS-i6. Пульт обеспечивает: передачу управляющих команд; прием телеметрической информации с агробота; автоматическое отключение шнека при потере сигнала или возникновении аварийной ситуации. Кастомные прошивки пульта увеличивают количество каналов и добавляют новые функции. Ключевые особенности протокола связи AFHDS 2A для приемника FS-iA6B позволяют: выполнить смену частот и достичь высокой устойчивости к помехам даже при сильном электромагнитном загрязнении; поддерживать двунаправленную связь с передачей телеметрических данных от приемника к передатчику. Протокол обмена данными предусматривает динамический контроль целостности связи: адаптивный таймаут при потере связи в диапазоне 300–1000 мс в зависимости от качества канала; механизмом безопасной эксплуатации обеспечивает автоматический останов шнека при обнаружении аномалий в потоке управляющих команд.

Дальность связи при радиоуправлении варьируется от 100 м (в условиях сложного рельефа с препятствиями) до 1000 м (на открытой территории с прямой видимостью). Практика использования АМР показала, что для надежного управления навесным оружием в полевых условиях рабочее расстояние в 150–200 м является вполне достаточным.

Для обеспечения надежности и эффективности работы выбран цепной привод шнека. Сам шнек механически исправен и сбалансирован. Защита от перегрузок обеспечивается за счет электронной защиты при помощи датчика тока с отключением при превышении предельного значения. Реализованы следующие алгоритмы адаптивного управления шнеком: плавный пуск и остановка; контроль тока с автоматическим отключением при перегрузке; аварийная защита. Объект исследования функционирует в следующих типовых режимах: режим настройки и калибровки (робот неподвижен, шнек не загружен материалом); режим нормальной работы (шнек загружен, робот движется или стоит, связь устойчива, выполняемые операции – плавный пуск, работа на заданной скорости, плавная остановка); режим аварийной остановки (перегрузка с заклиниванием/ переполнением, перегрев, потеря связи, нажатие аварийной кнопки); режим реверса при заклинивании шнека с резким ростом тока (выполняется изменение направления вращения с попыткой восстановления нормального направления).

Разработанная система радиоуправления шнековым оружием предназначена для совместного использования с мобильным агроботом и обеспечивает: снижение трудозатрат оператора и повышение безопасности его работы за счет дистанционного управления; автоматическая защита от аварийных ситуаций останавливает шнек при заклинивании, перегреве двигателя или потере связи; легкость масштабирования – за счет универсальности и модульности разработки, позволит адаптировать ре-

зультат к произвольному самоходному шасси; технологичность изготовления при использовании широко доступных компонент ведет к низкой стоимости внедрения; возможность интеграции в существующую технику при модернизации оборудования; эксплуатационные преимущества на основе улучшенной эргономики и надежности управления. Открытая архитектура допускает параметрическую настройку под разные типы шнеков (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Шнековое орудие с системой радиоуправления для автономного мобильного агробота

Дальнейшее развитие связано с дистанционным мониторингом поля и контролем работы навесных орудий при помощи камеры наблюдения и развитии системы технического зрения для повышения эффективности и автономности сельскохозяйственных роботов [5].

Заключение.

Разработана законченная система дистанционного радиоуправления управления шнековым механизмом, которая готова к практическому внедрению и может быть рекомендована для использования в составе мобильных агроботов в растениеводстве, животноводстве, зернопереработке и коммунальном хозяйстве.

Список использованной литературы

1. Перспективные направления создания инновационной сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь / С. Г. Яковчик, Н. Г. Бакач, Ю. Л. Салапура, Э. В. Дыба // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». Том Выпуск 51. – Минск: Белорусская наука, 2018. – С. 3–9.

2. Васильев, С. А. Теоретические предпосылки для реализации контурной обработки почвы склоновых земель активным шнековым орудием / С. А. Васильев, Н. И. Затылков // Природообустройство. – 2019. – № 3. – С. 54–61.

3. Tahir, S. A. R. Localization, Navigation and Activity Planning for Wheeled Agricultural Robots - A Survey / S. A. R. Tahir // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2022. – No. 32. – P. 291–299.

4. Шушков, Р. А. Мобильные роботы в молочном животноводстве / Р. А. Шушков, Г. Г. Рапаков // Передовые достижения науки в молочной отрасли : Сборник научных трудов по результатам работы VI Международной научно-практической конференции, посвящённой дню рождения Николая Васильевича Верещагина, Вологда-Молочное, 25 октября 2024 года. – Вологда-Молочное: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», 2024. – С. 133–138;

5. Шушков, Р.А. Прототипирование мобильного робота с системой управления на основе компьютерного зрения для современного растениеводства / Р.А. Шушков, Г.Г. Рапаков, Д.А. Казаков // АгроЗооТехника, 2026, Том 9, № 2, DOI: 10.15838/alt.2026.9.2.7.

Summary. The developed system makes it possible to integrate an agricultural auger into the autonomous mobile agrobot, providing remote control by the operator's console and automatic protection in case of emergency situations.

УДК 637.112.5

Жилич Е.Л.¹; Бернацкая Д.В.¹;

Романович А.А.², кандидат технических наук, доцент;

Бондаренко И.И.², кандидат технических наук, доцент;

¹ РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДОЕНИЯ

Аннотация. Мировой опыт молочного скотоводства подтверждает устойчивую тенденцию развития роботизированного доения как одного из перспективных направлений, обладающих целым рядом очевидных преимуществ. В связи с этим в статье приведены результаты аналитических и теоретических исследований конструкций роботизированных систем доения.

Ключевые слова: молочное скотоводство, доение, доильные роботы, доильная система, «Карусель».

Abstract. Global dairy farming experience confirms the steady development of robotic milking as a promising area with a number of clear advantages. Therefore, this