

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВОМ СО СМЕННЫМИ МОДУЛЯМИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Несмиянов И.А., Воробьева Н.С., Иванов А.Г., Бирин Г.Д.
Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград

Ключевые слова: реконфигурируемое роботизированное средство, сменный модуль, систем управления, микроконтроллер, программные движения.

Аннотация. В статье представлена разработанная универсальная многоконтурная система управления приводами сменных роботизированных модулей для различных технологических процессов возделывания овощных культур. Система управления состоит из двух уровней: верхний уровень реализован на мощном миникомпьютере, нижний уровень построен на микроконтроллере серии STM32. Управление приводами осуществляется по заранее синтезированным законам программного движения.

CONTROL SYSTEM FOR A RECONFIGURABLE ROBOTIC EQUIPMENT WITH REPLACEABLE MODULES FOR VARIOUS TECHNOLOGICAL PROCESSES OF VEGETABLE CROPS CULTIVATION

Nesmiyanov I.A., Vorobyova N.S., Ivanov A.G., Birin G.D.
Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Keywords: reconfigurable robotic vehicle, replaceable module, control system, microcontroller, programmable movements.

Abstract. This article presents a developed universal multi-loop control system for drives of interchangeable robotic modules used in various vegetable cultivation processes. The control system consists of two levels: the upper level is implemented on a powerful minicomputer, while the lower level is built on an STM32 microcontroller. The drives are controlled using pre-programmed motion laws.

Технология селекционного возделывания овощных культур для производства семян и семенного материала имеет свои особенности, особые приёмы возделывания и повышенные агротехнические требования. Создание реконфигурируемых (перенастраиваемых) агрегатов на основе набора различных исполнительных модулей, адаптируемых под различные технологические процессы, являются перспективной тенденцией современной сельскохозяйственной робототехники [1, 2].

Предлагаемая конструкция экспериментального образца робототехнического комплекса основана на модульном конструировании и имеет сменные базовые модули для выполнения различных технологических процессов возделывания овощных культур (рис. 1) [2, 3].

Основой реконфигурируемого агрегата для технологических процессов селекционного возделывания овощных культур является самоходное шасси 1 (рис. 1), на которое монтируются сменные модули, в зависимости от требуемой технологической операции. Исследовались три технологических операции: укладка и перфорация мульчирующей пленки (модуль 2, рис. 1) [4, 5], полосовое

внесение средств защиты растений и агрохимикатов (модуль 3) [6, 7] и дискретная прополка сорняков в рядах растений (модуль 4) [8, 9]. Все эти модули быстросъемные и легко настраиваемые. Сменные модули имеют разное количество исполнительных приводов. Модуль 1 укладки и перфорации мульчирующей пленки имеет два линейных привода, один для перевода из транспортного положения в рабочее, второй для перфорации пленки. Модуль 3 полосового внесения жидких агрохимикатов имеет два вращательных привода для позиционирования форсунок в рядах растений. А вот модуль 4 для прецизионной дискретной прополки сорняков имеет один вращательный (привод фрезы) и четыре линейных привода позиционирования рабочего органа.

Для управления исполнительными приводами сменных модулей разработана единая универсальная реконфигурируемая система управления рабочими органами 5 (рис. 1) на основе синтезированных программных движений исполнительных органов.

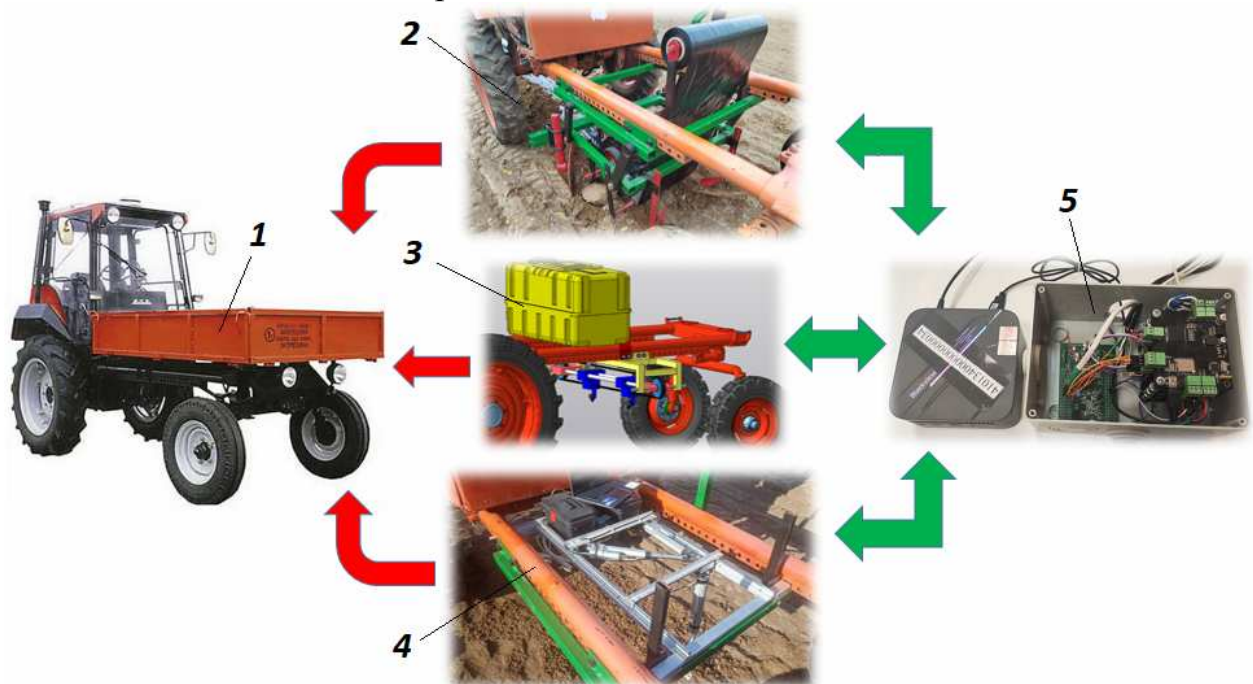


Рис. 1. Схема реконфигурации роботизированного агрегата со сменными модулями

Архитектура системы управления роботизированными модулями, обусловлена конструктивными особенностями модулей, программным обеспечением и решаемыми задачами. Функционально система разделена на два уровня: верхний уровень отвечает за глобальное планирование движения, обработку информации от системы технического зрения, а нижний уровень обеспечивает непосредственное управление исполнительными механизмами отдельных модулей. Структура системы управления представлена на рисунке 2.

Разделение системы управления на два уровня — является распространенным и эффективным подходом.

Верхний уровень реализован на мощном мини ПК (рис. 3), обеспечивая распределённую обработку данных и высокую вычислительную мощность. Система технического зрения на верхнем уровне обеспечивает распознавание растений, сорняков, определение их состояния, а также контроль за выполнением сельскохозяйственных операций.

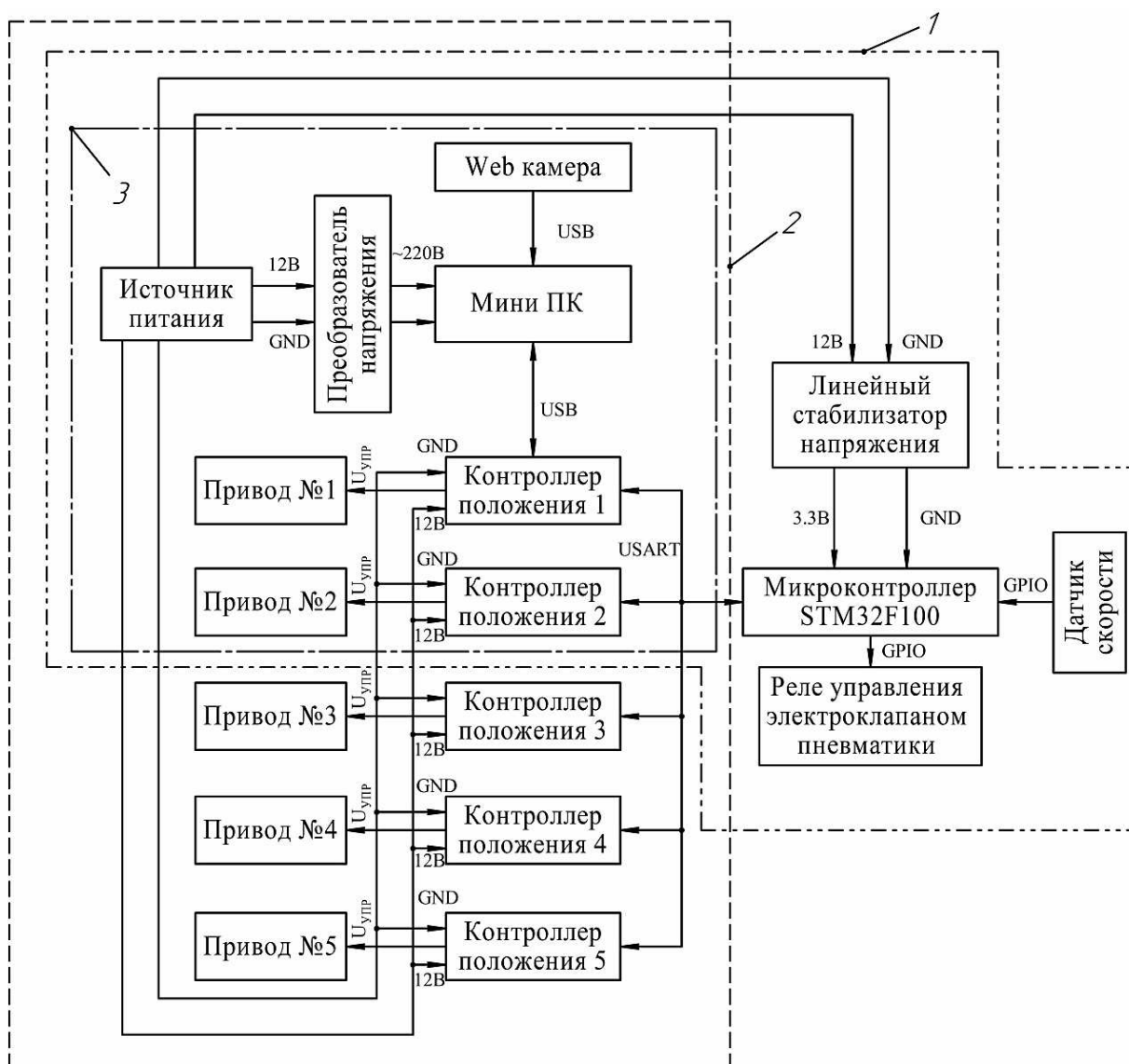


Рис. 2. Структурная схема универсальной системы управления приводами модулей:
 1 – контур системы управления модуля для укладки мульчирующей пленки;
 2 – контур системы управления модуля для удаления сорняков; 3 – контур системы управления модуля для химической обработки растений

Нижний уровень реализован на контроллерах положения собственной разработки (рис. 3). Контроллер постоянно отслеживает текущее положение линейных приводов с помощью датчиков (инкрементальных энкодеров или потенциометров), сравнивает его с заданным значением, вычисляет необходимые корректирующие воздействия и передаёт их на исполнительные механизмы. Этот процесс базируется на алгоритмах управления, реализованных программным обеспечением. Программные законы перемещения выходного звена могут быть различными.

В основе контроллера положения лежит вычислительное ядро, реализующее функции автоматического управления на базе микроконтроллера STM32F100RBT6. Этот выбор обусловлен его характеристиками: 8 Кб ОЗУ, 128 Кб ПЗУ – достаточно для хранения программного обеспечения и данных. Наличие интерфейсов USART, I2C и SPI позволяет общаться с другими устройствами и датчиками. Два 12-битных АЦП обеспечивают высокоточный

аналого-цифровой преобразователь для считывания данных с различных аналоговых датчиков. Несколько таймеров позволяют реализовывать временные задержки и прецизионное управление. Семь каналов DMA (Direct Memory Access) позволяют эффективно передавать данные между периферийными устройствами и памятью микроконтроллера без вмешательства процессора, что повышает производительность системы.



Рис. 3. Общий вид системы управления

В контроллере реализована возможность беспроводного соединения с верхним уровнем, за счет модуля ESP8266-F12.

Непосредственное управление двигателем осуществляется двухканальным мостовым усилителем мощности на интегральной схеме VNH3SP30. Он работает с напряжением 7-36В и током до 30А на канал, имеет защиту от перенапряжения и перегрева.

В результате спроектирована универсальная система управления приводами роботизированных модулей по заданным программным законам.

Для более эффективного управления двигателем целесообразно использовать алгоритмы управления, которые минимизируют пиковые токи и снижают нагрузку на усилитель [10]. Характеристики усилителя позволяют работать с различными типами двигателей.

Финансирование. Работа выполнена в рамках тематики НИР Минобрнауки России FESR-2023-0009.

Список литературы

1. Воробьева Н.С., Несмиянов И.А, Дяшкин-Титов В.В., Иванов А.Г., Захаров Е.Н. Модульные схемы манипуляционных роботов для технологических процессов в сельском хозяйстве и перерабатывающем производстве // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – №3(67). – С. 50-58.
2. Воробьева Н.С., Несмиянов И.А., Дяшкин А.В., Дяшкин-Титов В.В., Захаров Е.Н. Робототехнический комплекс для возделывания овощных культур // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – №4(287). – С. 41-44.

3. Несмиянов И.А., Воробьева Н.С., Иванов А.Г., Шарипов Р.В. Реконфигурируемое робототехническое средство со сменными модулями для различных технологических процессов селекционного возделывания овощных культур // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2025. – №15. – С. 145-148.
4. Несмиянов И.А., Воробьева Н.С., Бочарников В.С., Иванов А.Г., Дяшкин-Титов В.В., Дяшкин А.В., Ажгалиев Р.С. Роботизированный модуль для укладки мульчирующей пленки и системы капельного орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – №5(77). – С. 352-360.
5. Патент №2829590 РФ. Модуль для укладки мульчирующей пленки / В.А. Цепляев, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, А.Г. Иванов, В.С. Бочарников, И.Б. Борисенко, А.В. Дяшкин, Е.Н. Захаров, В.В. Дяшкин-Титов, Р.С. Ажгалиев. – Заявка №2024112728 от 07.05.2024; опубл. 01.11.2024.
6. Патент №2796491. Роботизированный комплекс для полосового опрыскивания овощных культур / И.Б. Борисенко, Д.В. Скрипкин, М.В. Мезникова, А.Н. Сидоров, А.А. Габуншина, А.В. Сорокин, Н.С. Воробьева, А.Г. Иванов, А.В. Дяшкин, В.В. Дяшкин-Титов. Заявка №2023100594 от 11.01.2023; опубл. 24.05.2023, Бюл. №15.
7. Патент №2811688 РФ. Роботизированный комплекс для полосового опрыскивания овощных культур / В.А. Цепляев, И.А. Несмиянов, И.Б. Борисенко, О.Г. Чамурлиев, В.С. Бочарников, Н.С. Воробьева, Д.В. Скрипкин, А.П. Евдокимов, А.В. Дяшкин, В.В. Дяшкин-Титов, Е.Н. Захаров, А.Г. Иванов, Р.С. Ажгалиев. – Заявка №2023119909 от 27.07.2023; опубл. 16.01.2024.
8. Патент №2703092 РФ. Робот-пропольщик / Н.С. Воробьева, А.В. Дяшкин, А.Г. Иванов, И.А. Несмиянов, В.В. Жога, В.В. Дяшкин-Титов. – Заявка №2019102103 от 25.01.2019; опубл. 15.10.2019.
9. Иванов А.Г., Несмиянов И.А., Воробьева Н.С. Обоснование параметров культиватора с автоматизированным блоком удаления сорняков // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – №9(292). – С. 31-35.
10. Захаров Е.Н., Несмиянов И.А., Воробьева Н.С., Иванов А.Г., Бабоченко Н.В. Принцип реализации интеллектуального управления манипулятором-триподом // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2025. – №9(304). – С. 22-26.

Сведения об авторах:

Несмиянов Иван Алексеевич – д.т.н., профессор;

Воробьева Наталья Сергеевна – д.т.н., доцент;

Иванов Алексей Геннадьевич – к.т.н., доцент,

Бирин Георгий Дмитриевич – студент.