

4. Robust internal model control of servo motor based on sliding mode control approach / P. Li, G. Zhu // ISA Transactions. – 2019. – DOI: 10.1016/j.isatra.2019.03.021.

5. Robust current control-based generalized predictive control with sliding mode disturbance compensation for PMSM drives / X. Liu, C. Zhang, K. Li, Q. Zhang // ISA Transactions. – 2017. – Vol. 71. – P. 542–552. – DOI: 10.1016/j.isatra.2017.08.015.

УДК 631.171:62.52

Абдуллаев¹ И.М., магистрант, Баймуханов² Б.Е., магистрант

*¹Казахский агротехнический исследовательский университет
имени Сакена Сейфуллина, Астана*

²Бостонский университет, Бостон

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ЗА СЧЕТ НЕЗАВИСИМОГО И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Внедрение роботизированных систем является инновационным направлением развития агропромышленного комплекса, поскольку автономные и высокоточные мобильные платформы способны эффективно решать различные сельскохозяйственные задачи, независимо от условий внешней среды.

Цель данной работы заключается в проектировании системы управления (СУ) роботизированной четырехколесной платформы, осуществляющей индивидуальное регулирование параметров (крутящего момента M_i и угловой скорости ω_i) каждого из четырех электроприводов для достижения максимальной энергоэффективности и повышенной проходимости. Такой мобильный робот способен автономно выполнять широкий спектр задач, включая посев, внесение удобрений, полив, опрыскивание и доставку собранного урожая.

Разрабатываемая мобильная платформа оснащена четырьмя независимыми бесщеточными двигателями постоянного тока (BLDC) с инкрементальными энкодерами и датчиками тока. Использование BLDC-моторов, имеющих высокий коэффициент полезного действия (до 90%), и реализация прямого привода, по сравнению с меха-

низмами с редуктором, исключает источники потерь энергии на трение. Основной вклад в повышение энергетической эффективности вносится благодаря устранению этих потерь и адаптивному управлению электродвигателями путем анализа рельефа местности.

Архитектура системы управления будет выстроена по иерархическому принципу (трехуровневая модель) для эффективного разделения задач.

Верхний контур отвечает за стратегическое планирование, построение и оптимизацию маршрута и требует полных данных об окружающей среде и геолокации. В качестве основных датчиков используются GNSS-приемник (Global Navigation Satellite Systems) для определения абсолютной позиции и траектории, инерциальный измерительный блок (IMU) для уточнения ориентации робота в пространстве и технология обнаружения и определения дальности с помощью света LiDAR (Light Detection and Ranging) для восприятия внешней обстановки.

GNSS-приемник служит глобальной навигационной базой, которая непрерывно поставляет данные о фактическом местоположении платформы с целью гарантирования следования заданному маршруту [1].

LiDAR строит детальную 3D-карту окружения и геометрические данные о препятствиях [2], в результате чего СУ может прогнозировать нагрузку, то есть заранее определять профиль рельефа и геометрию препятствий.

В отличие от традиционных подходов, где двигатель работает в фиксированном режиме, проектируемая СУ обеспечивает подачу минимально необходимой мощности P_{Σ} только для поддержания требуемой скорости и момента:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 P_i = \sum_{i=1}^4 (M_i \cdot \omega_i) \rightarrow \min . \quad (1)$$

P_{Σ} минимизируется за счет точного регулирования угловой скорости ω_i и крутящего момента для каждого колеса, что дает возможность плавно изменять его величину, избегая резких и неэффективных скачков мощности. Более того, при обнаружении скользких участков или неровностей (ямы, бугры) с высоким рис-

ком застревания, система может мгновенно перераспределить момент M_i на колеса, имеющие максимальное сцепление, предотвращая остановку или потерю энергии на длительную пробуксовку.

Детальные данные о расположении препятствий и границ также позволяют контуру управления рассчитать оптимальный режим передвижения для сокращения траектории и общего времени работы.

Среднее звено, реализуемое на высокопроизводительном микроконтроллере (MCU) семейства STM32, принимает сформированные целевые векторы движения с верхнего уровня и выполняет кинематические расчеты, преобразуя общую команду в отдельные параметры (M_i и ω_i) для каждого из четырех приводов. На этом же уровне с помощью MCU внедряется алгоритм векторного контроля (FOC), что позволяет осуществлять регулирование динамических параметров каждого колеса.

Нижнее звено представлено силовыми BLDC-драйверами и исполнительными элементами, которые, получая высокочастотные ШИМ-сигналы от STM32, обеспечивают непосредственную подачу тока на обмотки двигателей, осуществляя физическое перемещение с высоким КПД [3].

Предложенная система управления, основанная на индивидуальных электроприводах и использовании LiDAR для полноценной оценки среды, имеет серьезные перспективы в увеличении потенциала и комплексном решении задач аграрного сектора. Дальнейшая интеграция с компьютерным зрением и интеллектуальная оптимизация маршрута значительно расширит возможности платформы, позволив создавать универсальные мобильные роботизированные комплексы.

Список использованной литературы

1. T. Suzuki, M. Kitamura, Y. Amano, N. Kubo. Autonomous Navigation of a Mobile Robot Based on GNSS/DR Integration in Outdoor Environments // Journal of Robotics and Mechatronics. Vol. 26 No. 2, pp. 214–224, 2014.
2. Урваев И. Н. Навигация мобильного робота на основе методов лазерной дальнометрии // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1. С. 44–51.
3. F. Zhang, X. Kong, F. Li, Y. Zhang. The Design of Controller for BLDC Based on STM32. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 446 (2020) 042047.