

В области электроснабжения перспективным направлением является создание гибридных энергетических комплексов с распределенной генерацией энергии множественными источниками, в том числе возобновляемыми, объединенными в интеллектуальную энергосеть (*Smart Grid*) на базе централизованной сети, или локальных сетей [5, 6].

В соответствии с обозначенными перспективными направлениями развития энергоснабжения сельского хозяйства на кафедре «Энергетика» Белорусского государственного аграрного технического университета осуществляются научные исследования по следующим направлениям: методология научного обоснования аграрных комплексных энергосистем с использованием МВТ, ВИЭ и отходов производства; автоматизированные системы управления гибридными энергетическими комплексами.

УДК 631.372

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТАХ

Павлюковец С.А., к.т.н., доцент, **Вельченко А.А.**, к.т.н., доцент,

Радкевич А.А., магистрант

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Роботизация агропромышленного комплекса, ставшая тенденцией последнего десятилетия, породила целый класс мобильных устройств сельскохозяйственного назначения. Из числа мобильных сельскохозяйственных агроботов получили развитие беспилотные наземные и летательные аппараты. Наземные агроботы являются многофункциональными устройствами, способными выполнять широкий класс операций, которые нашли своё применение в точном земледелии. Для наземных сельскохозяйственных мобильных роботов немаловажным аспектом является управление электроприводами движителей, которые могут быть колёсными либо гусеничными [1]. Очевидно, что методы и алгоритмы управления электроприводами различны в зависимости от назначения робота, режима его работы, типа выполняемых операций, а также применяемых движителей. В данной работе предлагается краткий обзор перспектив применения вентильных электроприводов в сельскохозяйственных мобильных роботах, которые занимают ведущую позицию среди электроприводов в мобильной робототехнике.

Из ряда систем электроприводов, применяемых в сельскохозяйственной робототехнике, наибольшую долю занимают сервоприводы, мотор-редукторы и мотор-колёса на основе вентильных электродвигателей [2]. Основным типом электроприводов колёс является дифференциальный привод, позволяющий реализовать независимое управление каждым движителем. В меньшей степени получили распространение электроприводы на основе коллекторных двигателей постоянного тока и асинхронных электродвигателей переменного тока.

Поскольку условия движения при работе на почвах сельскохозяйственных угодий для мобильных роботов сложны, сохранение устойчивости является ключевым вопросом интеллектуального управления. Наиболее часто используемая система привода в сельскохозяйственных роботах – электрическая трансмиссионная система, характеризующаяся простой реализацией высокоточного компьютерного управления, хорошей адаптивностью к окружающей среде, простотой обслуживания и высокой надежностью [2, 3].

Наиболее предпочтительными с точки зрения достижения высоких динамических характеристик, компактности и надёжности в управлении в сельскохозяйственных роботах являются вентильные сервоприводы на основе синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) и бесщеточных электродвигателей постоянного / переменного тока (БДПТ) из-за их хороших пусковых и регулировочных характеристик, плавного диапазона

регулирования скорости, высокой перегрузочной способности и низкого влияния электромагнитных помех. Управление этими двигателями реализуется при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

В качестве примера, в работе [3] описана разработка самоходного гусеничного робота для защиты растений на основе бесщеточного двигателя постоянного тока с двумя уровнями управления. Оборудование для защиты растений состояло из пяти устройств: системы управления нижним приводом, системы связи, самоходной системы, системы внесения пестицидов и системы мониторинга. Весь робот был компактно спроектирован для удовлетворения требований к пространству для работы в середине узкого промежутка ряда кукурузы, равным 600 мм.

Чжан и др. разработали [4] интеллектуальную мобильную платформу гусеничного типа для рубки деревьев с бесколлекторными двигателями постоянного тока с датчиками, включая лидар и гироскоп, которая показала хорошие результаты работы в лесах с различным расстоянием между растениями и рядами.

Для точного определения пути при навигации робота для сбора огурцов в теплице, Чен и др. [2, 3] разработали робота на основе характеристик вентильного сервопривода в сочетании с системой машинного зрения.

Необходимо отметить, что в рассмотренных примерах применялись системы дифференциальных вентильных электроприводов с электромеханической трансмиссией и мотор-редукторы. Мотор-колёса для сельскохозяйственных роботов не являются подходящими устройствами, так как для их функционирования необходима специальная подвеска, которую сложно реализовать в условиях работы на пересеченной местности. Также, принципиальными конструктивными особенностями отличаются вентильные электроприводы с радиальным и осевым магнитным потоком (рисунок 1). Для приведения в движение колёс перспективными являются двигатели с осевым магнитным потоком, позволяющие добиться высокой плотности крутящего момента и удельной мощности при уменьшенных габаритах.

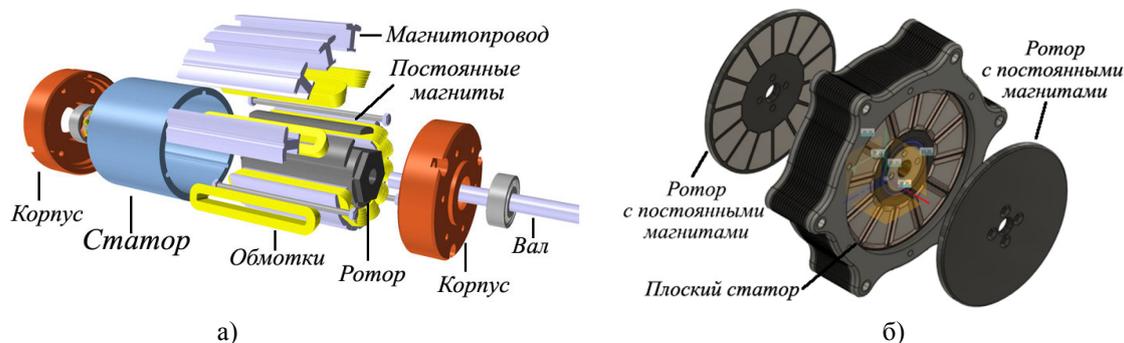


Рисунок 1 – Вентильный двигатель: а) радиального типа, б) аксиального типа

В отличие от непрерывного вращения двигателей постоянного тока, когда ток включен, шаговый двигатель поворачивается на один угол вперед для каждого входного электрического импульсного сигнала, чем достигается позиционное управление при помощи датчика угла поворота. Поэтому шаговые двигатели также широко используются в области сельскохозяйственных роботов. Например, Сюн и др. в работе [5] разработали недорогую двухрукавную систему для автономных роботов по сбору клубники на основе шаговых двигателей. Чтобы улучшить приспособляемость пересаживающего устройства к различным лоткам для пересадки, Шао и др. разработали адаптивное пересаживающее устройство для пересадки рассады риса, которое достигало непрерывного действия пересадки, приводя в действие устройство транспортировки рассады с помощью шагового двигателя, чтобы повысить его эффективность пересадки. Этот результат исследования предоставил новый метод пересадки рассады риса [3].

Стоит отметить, что двигатели переменного тока также часто используются в сельскохозяйственных роботах из-за их низкой стоимости, высокой надежности и простого управления скоростью двигателя. Гевара и др. использовали два двигателя переменного тока для привода двух резиновых гусениц в конструкции автономного мобильного робота для сканирования сельскохозяйственных сред [3]. Однако, в сравнении с вентильными электродвигателями, асинхронные электроприводы обладают худшими энергетическими показателями и требуют наличия дорогого инвертора напряжения.

Литература

1. Павлюковец, С. А. Мобильный агро-робот с колесами механум как альтернативна гусеничному роботу / С. А. Павлюковец, А. А. Радкевич // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 23-24 ноября 2023 г. - Минск : БГАТУ, 2023. - С. 267-270.
2. Xie, D.; Chen, L.; Liu, L.; Chen, L.; Wang, H. Actuators and Sensors for Application in Agricultural Robots: A Review. *Machines* 2022, 10, 913. <https://doi.org/10.3390/machines10100913>.
3. Ghobadpour, A.; Monsalve, G.; Cardenas, A.; Mousazadeh, H. Off-Road Electric Vehicles and Autonomous Robots in Agricultural Sector: Trends, Challenges, and Opportunities. *Vehicles* 2022, 4, 843-864. <https://doi.org/10.3390/vehicles4030047>.
4. Zhang, Z.; Jia, X.; Yang, T.; Gu, Y.; Wang, W.; Chen, L. Multi-objective optimization of lubricant volume in an ELSD considering thermal effects. *Int. J. Therm. Sci.* 2021, 164, 106884.
5. Sun, Y.N.; Pan, Z.Q. RBF network based motion trajectory optimization for robot used in agricultural activities. *Emir. J. Food Agric.* 2018, 30, 883–892.

УДК 629.7.03

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДА АГРОДРОНА

Заярный В.П., аспирант; **Дубинин С.В.**, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Одним из основных компонентов, влияющих на состав и параметры системы управления беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является его система электропитания.

В состав устройства управления электроприводом БПЛА входит система электропитания СЭП, система автоматического управления электроприводом САУ и собственно электропривод постоянного тока ДПТ.

На рис. 1 представлена обобщенная модель СЭП.

В состав СЭП входит аккумуляторная батарея АБ и стабилизатор напряжения питания СН. Обобщенную модель СЭП представлена виде динамической модели аккумуляторной батареи АБ [1] и модели стабилизатора напряжения питания в виде звена с насыщением СН.

Компьютерная модель системы управления электроприводом БПЛА с учетом ограничений, накладываемых динамической моделью СЭП, представлена на рис.2.

Проведено исследование влияния величины параметра U_p на время переходного процесса электропривода при единичном изменении момента сопротивления M_c (рис. 3).

Исследование проводилось для различного типа электроприводов при изменении U_n от 5 до 20 В с учетом допустимых параметров напряжения питания и ускорения приведенных к выходному валу масс исполнительных устройств. Полученные результаты будут использованы при модернизации систем управления БПЛА.