

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

¹Пермяков Д.С., ¹Носков А.Г.

¹Калининградский филиал ФГБОУ ВО СПБГАУ, г. Полесск, Российская Федерация

Аннотация: Цель исследования: для сельскохозяйственных приложений рассматриваются регуляризированные решения для интеллектуального земледелия, включая использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). БПЛА сочетают в себе информационные и коммуникационные технологии, роботов, искусственный интеллект, большие данные и интернет вещей. Сельскохозяйственные БПЛА обладают большими возможностями, и их использование расширилось во всех областях сельского хозяйства, включая распыление пестицидов и удобрений, посев семян, а также оценку роста и картографирование. Соответственно, ожидается, что рынок сельскохозяйственных БПЛА будет продолжать расти с соответствующими технологиями. В статье рассматриваются последние тенденции и области применения передовых технологий, связанных с сельскохозяйственными БПЛА, технологиями управления, оборудованием и разработками. Приводятся варианты использования БПЛА в реальных сельскохозяйственных условиях на примере Калининградской области.

Ключевые слова: сельскохозяйственное применение, сельскохозяйственный БПЛА, технология управления, интеллектуальное земледелие, беспилотный летательный аппарат, платформы БПЛА.

PROSPECTS OF USING UAVS IN AGRICULTURE

¹Permyakov D.S., ¹Noskov A.G.

¹Saint-Petersburg State Agrarian University (Kaliningrad branch), Polessk, Russian Federation

Abstract: The purpose of the study: Regularized solutions for intelligent agriculture, including the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), are considered for agricultural applications. UAVs combine information and communication technologies, robots, artificial intelligence, big data and the Internet of Things. Agricultural UAVs have great capabilities, and their use has expanded in all areas of agriculture, including pesticide and fertilizer spraying, seed sowing, as well as growth assessment and mapping. Accordingly, it is expected that the agricultural UAV market will continue to grow with the corresponding technologies. The article discusses the latest trends and areas of application of advanced technologies related to agricultural UAVs, control technologies, equipment and developments. Variants of the use of UAVs in real agricultural conditions on the example of the Kaliningrad region are given.

Keywords: agricultural application, agricultural UAV, control technology, intelligent agriculture, unmanned aerial vehicle, UAV platforms.

Согласно исследованиям ученых, к 2050 году население мира достигнет примерно 10 миллиардов человек. Следовательно, производство продуктов питания потребует увеличения на 70% [1]. Для повышения темпов производства продовольствия сельскому хозяйству требуются автоматизация, робототехника, информационные услуги и интеллект, который сочетает в себе информационные и коммуникационные технологии (ИКТ), робототехнику, искусственный интеллект (ИИ), большие данные и интернет вещей. Умное сельское хозяйство — это активное поле, которое создает новые возможности для будущего.

В центре развития умного сельского хозяйства находятся сельскохозяйственные роботы, среди которых широко применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [2–4, 8]. БПЛА значительно сократили рабочее время, что привело к повышению стабильности, точности измерений и производительности. БПЛА не только дешевле большинства других сельскохозяйственных машин, но и просты в эксплуатации. Более того, их применение способствовало расширению многих областей сельского хозяйства, включая разведку и распыление инсектицидов и удобрений, посев семян, распознавание сорняков, повышение плодородия, картированию и прогнозу урожая [5].

Передовые технологии включают в себя точное позиционирование, навигацию, средства управления, визуализацию, связь, датчики, материалы, батареи, схемы и двигатели. В зависимости от использования БПЛА и характеристик сельскохозяйственного сектора требуются различные технологии

(например, разработка оборудования, управление форсунками и большие данные). Предоставить информацию обо всех технологиях БПЛА сложно. Поэтому в этой статье мы сосредоточимся на разработке роботизированных систем, датчиков и типов платформ, которые в основном рассматриваются с точки зрения исследования и разработки.

Как и другие отрасли, сельскохозяйственный сектор стремился к инновациям, используя конвергентные технологии. БПЛА доказали свою высокую степень использования во всем секторе. Однако сельскохозяйственные БПЛА сталкиваются с многочисленными техническими ограничениями, такими как эффективность батареи, малое время полета, дальность связи и полезная нагрузка [9, 10].

Необходимо устранить технические ограничения, чтобы обеспечить правильный подход к следующему поколению сельскохозяйственных решений. Таким образом, план и система будущего развития должны быть созданы путем обсуждения новейших технологий, обновлений, точных инструментов и диверсификации.

В этой статье рассматриваем тенденции, состояние, новейшие технологии и области применения сельскохозяйственных БПЛА, а также определяем направления, перспективы и задачи на будущее.

Сельскохозяйственные платформы БПЛА. БПЛА стремительно развиваются в сфере сельского хозяйства, заменяя спутники и другие летательные аппараты. Когда БПЛА были впервые разработаны, они широко использовались в военных целях и для наблюдения. БПЛА могут оперативно получать высококачественные изображения по низкой цене, в то время как спутникам и самолетам требуются большие высоты, проникновение в облака и другие возможности для получения четких фотографий. БПЛА, с другой стороны, летают на более низких высотах, что позволяет им легко получать четкие изображения. Таким образом, количество БПЛА, используемых в сельском хозяйстве, стремительно увеличивается. Типы платформ, контроллеры, датчики и методы связи, используемые в существующих исследованиях, приведены в таблице 1.

Типы платформ. Существует два основных типа платформ БПЛА: с неподвижным крылом и вертолетом (см. рис. 1). БПЛА с неподвижным крылом внешне похож на самолет. Он летит за счет тяги и аэродинамической подъемной силы. БПЛА с неподвижным крылом обычно крупнее модели с винтокрылом и используется в основном для распыления и фотографирования в широком диапазоне [11–13]. Винтокрылые БПЛА можно разделить на вертолетные и многороторные. Вертолетный тип имеет большой пропеллер наверху летательного аппарата. Такой БПЛА широко используется для опрыскивания и аэрофотосъемки [7–9, 13]. Модели с несколькими роторами называются в зависимости от количества роторов, которыми они обладают, например, «квадрокоптер», что означает четыре ротора [2–5]. Гексакоптер имеет шесть роторов [3, 4], а октокоптер — восемь роторов [7].

Количество несущих винтов соответствует разнице в полезной нагрузке и размере БЛА. Октокоптеры, вертолеты и самолеты имеют наибольшую грузоподъемность (9,5 кг) и в основном используются для опрыскивания [7]. Квадрокоптеры и гексакоптеры относительно малы и несут меньшую полезную нагрузку (1,25–2,6 кг). Их используют для разведки и картографирования [1], [4]. Наибольшую полезную нагрузку (23 кг) имеют БПЛА с неподвижным и вертолетным крылом, за ними следуют вертолеты (22 кг). В настоящее время беспилотные летательные аппараты с неподвижным и вертолетным крылом все чаще используются для точного земледелия. Многороторные БПЛА используются для чрезвычайно точных задач, таких как распределение пыльцы и влаги и контроль точности.

Аппаратное обеспечение и составные части. Для БПЛА требуются датчики и вычислительные платформы, как показано на рисунке 2. Датчики обычно устанавливаются на бортовые вычислительные платформы, такие как Arduino, Raspberry Pi, Orange Pi, Odroid и Nvidia Jetson [7, 2, 4, 9]. Платформы управления (т. е. управляющее оборудование), такие как Pixhawk, Ardupilot, Multiwii и Naza, также связаны с вычислительными платформами. Также возможен случай, когда некоторые датчики (например, GPS-приемник и IMU) установлены или подключены к платформам управления.



Рисунок 1 - Типы платформ БПЛА

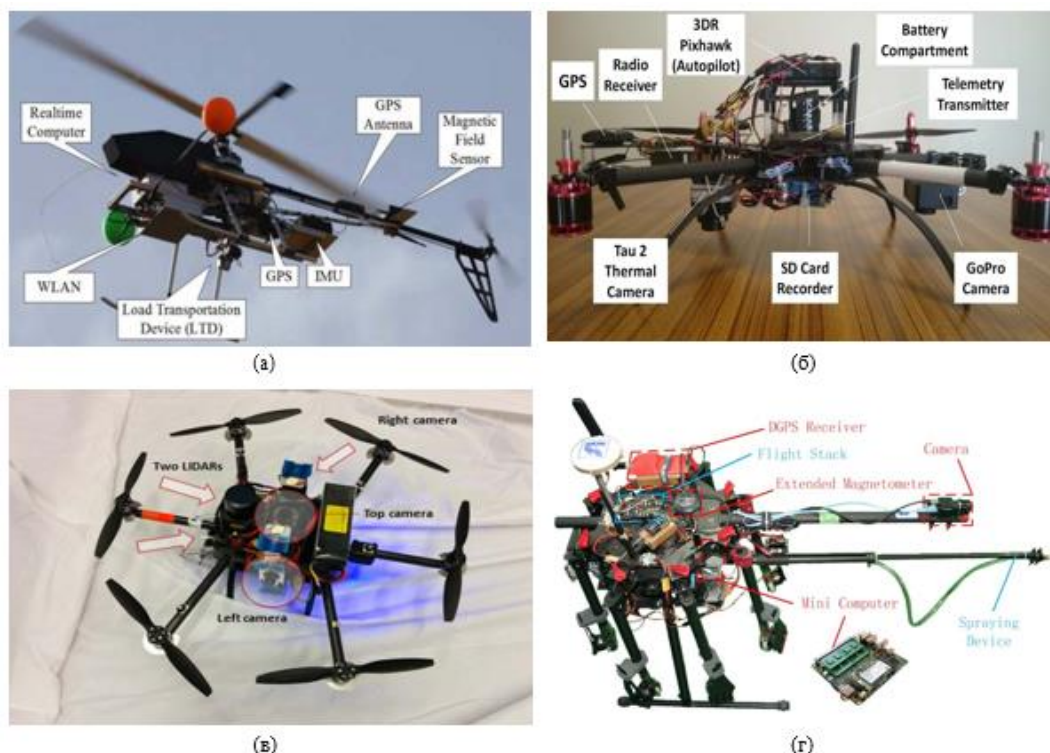


Рисунок 2 - Типы беспилотных летательных объектов: (а) вертолётный тип [7]; б – квадрокоптер [2]; в – гексакоптер [4]; (г) октокоптер [3]

Таблица 1 - Сельскохозяйственные платформы для БПЛА

Платформа	Датчики	Связь
С неподвижным крылом(23 кг)	GPS-приемник	Беспроводное радио
	Фотодетекторы	
	Мультиспектральная камера	Беспроводное радио
	Гиперспектральная камера	
	GPS-приемник	-
	красно-зелено-синяя (RGB) камера	-
	RGB-камера	-
Тепловая камера	-	
Вертолет (22 кг)	инерциальный измерительный блок (IMU),	беспроводная локальная сеть
	RGB-камера	
	Мультиспектральная камера	-
	RGB-камера	-
Квадрокоптер(1,25 кг)	ИДУ	Bluetooth
	RGB-камера	-
	RGB-камера	-
	Мультиспектральная камера	-
	Камера видимого света	-
	Мультиспектральная камера	-
	Тепловая камера	Wi-Fi
	Тепловая камера	Беспроводное радио
	Тепловая камера	Xbee
	Гиперспектральная камера	-
	GPS-приемник	Беспроводное радио
Тепловая камера	Беспроводное радио	
Мультиспектральная камера	-	
Тепловая камера	-	
RGB-камера	Wi-Fi	
RGB-камера	-	

	Тепловая камера	
	RGB-камера	Беспроводное радио
	GPS-приемник	-
Гексакоптер(2,6 кг)	RGB-камера	-
	обнаружение света и определение дальности (LiDAR), IMU	-
	RGB-камера	-
	Гиперспектральная камера	Беспроводное радио
	GPS-приемник	Беспроводное радио
Октокоптер(9,5 кг)	ИМУ, RGB-камера	-
	ИМУ, RGB-камера	-

С развитием технологий датчики становятся все более умнее и легче. Таким образом, их использование расширилось до транспорта, сельского хозяйства и других областей. Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) — это система локализации и навигации на основе датчиков, использующая спутники и точно определяющая местоположение БПЛА. Он также может служить защитным выключателем для постановки на охрану. Кинематика в реальном времени позволяет оптимизировать GNSS для более высокой точности позиционирования (2-3 см), и типичные примеры GNSS включают GPS в США, Galileo в Европе, Бэйдоу в Китае и ГЛОНАСС в России.

Теперь стало возможным получать необходимую сельскохозяйственную информацию, просто делая снимки. При использовании камеры видимого света можно получить изображение с четким разрешением даже с большого расстояния. Кроме того, требуемую информацию можно получить с помощью различных типов камер, таких как мультиспектральная камера. Кроме того, тепловизионные камеры используются для подтверждения роста посевов и рельефа полей. Инструмент LiDAR вращается на 360 градусов, чтобы включить 3D-объемное картографирование с помощью лазера. LiDAR является важным инструментом, используемым для разведки и картографирования местности [12, 15].

Управление сельскохозяйственными БПЛА. Сельскохозяйственные БПЛА используют батарею ограниченной емкости и не работают вхолостую во время полета. Соответственно, были проведены различные исследования технологий контроля, используемых для максимизации эффективности ведения сельского хозяйства. Важнейшие технологии для управления сельскохозяйственными БПЛА включают в себя технологии полета (например, управление ориентацией и высотой, навигационные системы, распознавание и уклонение от препятствий, принятие решений и суждений, а также широкомасштабное управление). Существуют также беспроводные инструменты для передачи данных с GCS.

Примеры использования БПЛА в сельском хозяйстве. 2D- или 3D-карты сельскохозяйственного поля, сделанные БПЛА, могут предоставить полезную информацию. Например, площадь сельскохозяйственных угодий в Калининградской области, состояние почвы и состояние посевов можно использовать для улучшения и повышения эффективности модели [6, 9]. Поэтому картографические исследования продолжают привлекать внимание.

По сравнению со скоростным опрыскивателем или опрыскивателем большой площади БПЛА могут сократить использование пестицидов и повысить эффективность [2, 3, 8]. Количество пестицидов на гектар сельскохозяйственных угодий коррелирует с риском заболеваний рабочих и загрязнения окружающей среды. БПЛА может свести к минимуму использование пестицидов. Эта стратегия, применяемая в Калининградской области, обеспечивает крупномасштабную обработку до 50 га в день и требует всего около 10 минут работы на 0,5 га площади. Таким образом, исследования БПЛА направлены на снижение трудозатрат.

Мониторинг урожая — это работа, проводимая для прогнозирования урожайности или качества урожая посредством анализа данных о состоянии поля и/или культур (вегетационный индекс, наличие и тип сорняков, болезни и т.п.). Мониторинг урожая необходим для оптимального производства сельскохозяйственных культур. Однако мониторинг крупной фермы требует значительного времени и труда. Очень большие фермы часто контролируются через спутник. Однако это не подходит для точного мониторинга посевов. Для этого был предложен мониторинг посевов с помощью БПЛА, используемый в некоторых хозяйствах Калининградской области. Таким образом, были получены данные с высоким разрешением, а влияние погодных эффектов было уменьшено.

Использование БПЛА полностью исключает механическое воздействие на почву, что позволит снизить переуплотнение почвы и, следовательно, приведет к повышению ее плодородности, в конечном итоге — повышению урожайности [8].

БПЛА, оснащенный мультиспектральными камерами и датчиками температуры, может определять области с дефицитом воды. Специалисты в АПК Калининградской области

экспериментировали с использованием нескольких БПЛА, чтобы максимизировать эффект ирригации. Большинство исследований были сосредоточены на обработке изображений и сборе данных. Однако некоторые выполняли ирригационные работы там, где воды не хватает, загружая воду вместо пестицидов. В будущем интеллектуальном сельском хозяйстве система автоматизации орошения будет эффективно применяться с использованием БПЛА.

Выводы. Сельскохозяйственные БПЛА демонстрируют неограниченный потенциал в сельском хозяйстве. Однако на этих ранних стадиях исследований и разработок остается много ограничений и проблем. В статье рассматриваем платформы, управление и приложения сельскохозяйственных БПЛА, которые были разработаны или находятся в стадии изучения в сельскохозяйственной отрасли Калининградской области. Кроме того, представлены различные ограничения, доступные приложения и последние тенденции сельскохозяйственных БПЛА, чтобы описать направление будущих исследований.

Заключение. Был представлен подробный обзор сельскохозяйственных БПЛА, которые имеют выдающееся применение и потенциал. Таким образом, эта статья способствует будущим исследованиям, рынкам и приложениям сельскохозяйственных БПЛА.

Список использованных источников

1. Кендул Ф., Фантони И. и Лозано Р. «Моделирование и управление небольшим автономным летательным аппаратом, имеющим два наклоняемых винта», в материалах 44-й конференции IEEE по принятию решений и контролю и Европейской конференции по управлению, IEEE, Севилья, Испания, декабрь 2005 г.

2. Сонг Ю. Г. и Ван Х. Дж. «Проектирование системы управления полетом для небольшого беспилотного летательного аппарата с наклонным ротором», Китайский журнал авионавтики, вып. 22, нет. 3. С. 250–256, 2009.

3. Alkamachi A. и Ercelebi E. «Н ∞ - управление квадрокоптером с чрезмерно вытянутым ротором», Journal of Central South University, vol. 25, нет. 3. С. 586–599, 2018.

4. Ченкул Ф. и Алтуш Э., «Моделирование и управление новым квадрокоптерным БПЛА с наклонно-поворотным ротором», в материалах Международной конференции по беспилотным авиационным системам (ICUAS), IEEE, Атланта, Джорджия, США, май 2013 г.

5. Сато М. и Мураока К. «Конструкция контроллера полета и демонстрация беспилотного летательного аппарата с четырехстворчатым крылом», Journal of Guidance, Control, and Dynamics, vol. 38, нет. 6. С. 1071–1082, 2015.

6. Папахристос К., Алексис К. и Цес А. «Двойное управление вектором тяги три-конвертоплана с использованием модели управления с прогнозированием», Journal of Intelligent & Robotic Systems, vol. 81, нет. 3-4, с. 471–504, 2016.

7. Вурускан А., Юксек Б., Оздемир У., Юкселен А. и Иналхан Г. «Динамическое моделирование БПЛА с фиксированным крылом с вертикальным взлетом и посадкой», в материалах Международной конференции по беспилотным авиационным системам (ICUAS) 2014 г., IEEE, Орlando, Флорида, США, май 2014 г.

8. А.Г. Носков, В сборнике: Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. Санкт-Петербург, 2021. С. 613-616.

9. Флорес Г., Луго И. и Лозано Р. «Конструкция контроллера парения с 6 степенями свободы для четырехугольного конвертоплана», в материалах 53-й ежегодной конференции IEEE по принятию решений и управлению, IEEE, Лос-Анджелес, Калифорния, США, декабрь. 2014 г.

10. Сюн Ж.-Ж. и Чжэн Э.-Х., «Управление слежением за положением и ориентацией квадрокоптера БПЛА», ISA Transactions, vol. 53, №. 3. С. 725–731, 2014.

11. Р.К. Рангель, «Разработка инструментов распространения БПЛА для биологической борьбы с вредителями «бомбы-жуки!»», на аэрокосмической конференции IEEE 2016 г. IEEE, 2016 г., стр. 1–8.

12. М. Кумбс, У.-Х. Чен и К. Лю, «Планирование траектории обзора БПЛА с неподвижным крылом в условиях ветра для улучшения существующего программного обеспечения наземной станции управления», 37-я Китайская конференция по управлению (CCC), 2018 г. IEEE, 2018 г., стр. 9820–9825.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.