

EDN: YMDREZ

DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-2-67-75



Научная статья

УДК 631.3



Система управления беспилотных воздушных судов и средства аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий

Яков Петрович Лобачевский,
доктор технических наук, профессор,
академик Российской академии наук,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук, главный научный сотрудник,
член-корреспондент Российской академии наук,
e-mail: vimas@mail.ru;

Рашид Курбанович Курбанов,
доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: smedia@vim.ru;

Наталья Ивановна Захарова,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Беспилотные авиационные системы становятся одной из ключевых технологий в реализации цифровой трансформации агропромышленного комплекса, позволяя оперативно получать актуальную информацию о состоянии сельскохозяйственных угодий. (*Цель исследования*) Выполнить ретроспективный анализ для выявления основных тенденций в развитии системы управления полетом беспилотных воздушных судов и средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий. (*Материалы и методы*) Проведен ретроспективный анализ на основе систематического обзора литературы, изучены оригинальные труды отечественных и зарубежных авторов, а также монографии, материалы конференций, музейные экспозиции, фотодокументы и открытый исходный код программного обеспечения. (*Результаты и обсуждение*) Выделено шесть этапов в развитии систем управления полетом беспилотных воздушных судов и средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий. Периодизация основана на изменении типа собираемых фотоматериалов, камер и летательных аппаратов, на которые они устанавливались. Определены основные тенденции развития систем управления полетом беспилотных воздушных судов и средств аэрофотосъемки на каждом этапе, включая тип беспилотных летательных аппаратов, дальность и продолжительность полета, систему управления полетом, средства аэрофотосъемки, тип и количество получаемых изображений, летательный аппарат для их сбора. На основе проведенного анализа определены дальнейшие направления развития беспилотных авиационных систем. (*Выводы*) Процессы разработки систем управления полетом беспилотных воздушных судов и средств аэрофотосъемки происходили параллельно до интеграции камер на борт. Установлено, что ключевую роль в развитии сыграли миниатюризация камер и совершенствование полетных контроллеров, что обеспечило высокую точность данных аэрофотосъемки и оперативность мониторинга сельскохозяйственных угодий. Предположили, что дальнейшее развитие бортовых интеллектуальных систем и средств аэрофотосъемки приведет к полной автоматизации сбора и обработки информации, что позволит осуществлять мониторинг с высокой точностью в реальном времени.

Ключевые слова: сельское хозяйство, аэрофотосъемка, аэрофотография, аэрофотоаппарат, дистанционное зондирование, история развития, точное земледелие, беспилотная аэрофотосъемка.

■ **Для цитирования:** Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Система управления беспилотных воздушных судов и средства аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. Т. 20. №2. С. 67-75. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-2-67-75. EDN: YMDREZ.

Scientific article

Control System and Aerial Imaging Equipment for Unmanned Aircraft Used in Agricultural Land Monitoring

Yakov P. Lobachevsky,
Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the Russian Academy
of Sciences, e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

Yuliya S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, corresponding member
of the Russian Academy of Sciences,
e-mail: vimas@mail.ru;

Rashid K. Kurbanov,
Dr.Sc.(Eng.), leading researcher,
e-mail: smedia@vim.ru;

Natalia I. Zakharova,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: smedia@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Unmanned aircraft systems are becoming one of the key technologies in the digital transformation of the agro-industrial sector, enabling timely monitoring of agricultural land and the acquisition of up-to-date information on its condition. (*Research purpose*) The study aimed to conduct a retrospective analysis to identify the main trends in the development of UAV flight control systems and aerial imaging equipment for agricultural land monitoring. (*Materials and methods*) A retrospective analysis was carried out based on a systematic literature review. Original works by Russian and foreign authors were examined, along with monographs, conference proceedings, museum exhibits, photographic documents, and open-source software code. (*Results and discussion*) Six stages were identified in the development of UAV flight control systems and aerial imaging equipment used for agricultural land monitoring. The proposed periodization is based on changes in the types of image data collected, the cameras employed, and the aircraft on which they were installed. For each stage, the main trends in the development of UAV flight control systems and aerial imaging equipment were determined, including UAV type, flight range and endurance, flight control system, imaging equipment, type and number of images obtained, and the aircraft used for data collection. Based on the analysis, further directions for the development of unmanned aircraft systems were identified. (*Conclusions*) The development of UAV flight control systems and aerial imaging equipment proceeded in parallel until cameras were integrated directly on board aircraft. The study showed that camera miniaturization and the improvement of flight controllers have played a key role in this development, ensuring high-accuracy aerial imaging data and enabling timely monitoring of agricultural land. Further development of onboard intelligent systems and aerial imaging equipment is expected to lead to the full automation of data collection and processing, thereby enabling high-precision real-time monitoring.

Keywords: agriculture, aerial photography, aerial imaging, aerial photograph, aerial camera, remote sensing, history of development, precision agriculture, unmanned aerial photography, unmanned aerial imaging.

■ **For citation:** Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S., Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Control system and aerial imaging equipment for unmanned aircraft used in agricultural land monitoring. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. Vol. 20. N2. 67-75 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-2-67-75. EDN: YMDREZ.

В процессе эволюции сельского хозяйства в течение длительного времени использовались экстенсивные технологии [1, 2]. Им на смену пришли интенсивные, ресурсо- и энергосберегающие, а также сквозные технологии. Качественный скачок в интенсификации агротехнологий произошел в 1970–1980-х годах в результате так называемой «Зеленой революции», ключевыми факторами которой стали новые интенсивные сорта растений, удобрения, химические и биологические средства защиты растений, а также новое поколение сельскохозяйственной техники [3]. Четвертая промышленная революция привела к становлению концепции точного земледелия и цифрового сельского хозяйства, основой которых является масштабный сбор и анализ данных [4, 5].

В настоящее время сельское хозяйство становится высокотехнологичным сектором экономики, требующим применения точных технологий [6, 7]. Достижение стратегических планов и целей развития сельского хозяйства Российской Федерации требует апробации и внедрения новых технологий, техники и оборудования для точного земледелия, к которым относят беспилотные авиационные системы (БАС) [8, 9]. История развития аэрофотосъемки наглядно демонстрирует логику технологического прогресса, показывая, что инновации и открытия прошлого закономерно привели к появлению современных решений на базе беспилотных воздушных судов (БВС) и средств аэрофотосъемки. Анализ этого пути позволяет спрогнозировать, как имен-

но БВС будут развиваться и встраиваться в сельскохозяйственные процессы в будущем.

Цель исследования: выполнить ретроспективный анализ для выявления основных тенденций в развитии системы управления полетом БВС и средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Выполнен комплексный обзор литературы с использованием историко-аналитического метода для описания развития системы управления полетом БВС и средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий. Рассмотрены оригинальные труды отечественных и зарубежных исследователей, включая монографии, статьи в научных журналах, материалы конференций, а также экспонаты музейных выставок и материалы, находящиеся в открытом доступе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. По результатам ретроспективного анализа развития системы управления полетом БВС и средств аэрофотосъемки в сельском хозяйстве, было определено шесть основных периодов развития.

На первом этапе – первых экспериментальных разработок аэрофотоаппаратуры (1858-1908 гг.) аэрофотосъемка была экспериментальной и неэффективной до появления более устойчивых воздушных средств. В это время начинаются разработки портативных камер и их креплений к различным носителям, создаются первые аэрофотоснимки [10, 11]. На этом этапе технологические возможности аэрофотосъемки не позволяли их применять в сельском хозяйстве в связи с непостоянством получаемых данных.

В результате исследования отмечено, что на второй стадии развития – аэрофотосъемке с летательных аппаратов (1909-1945 гг.) произошел стремительный и значительный прогресс, обусловленный сменой военного и мирного времени. Второй этап характеризуется появлением первых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в 1917 г. (рис. 1), система управления полетом которых представляла собой сложный часовой механизм с минимальными возможностями автопилотирования [12].

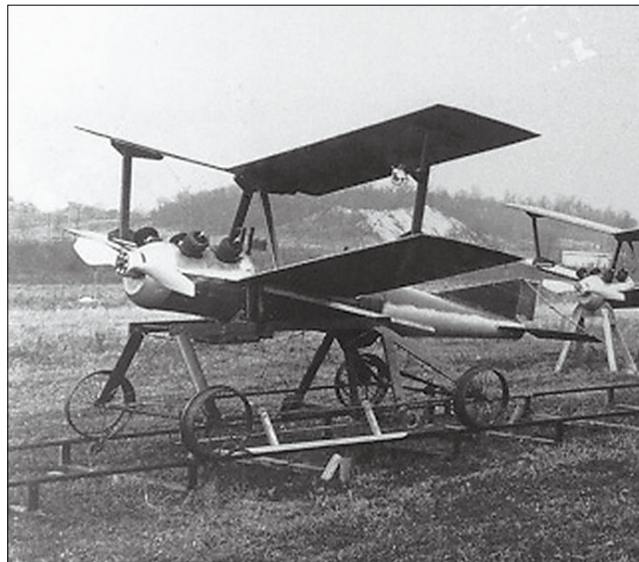


Рис. 1. «Жук» Кеттеринга, 1917 г. «От научной фантастики к заоблачным высотам: эволюция беспилотных летательных аппаратов» FromSci-FitoSkyHigh: The Evolution of Drones. <https://dacaviation.net/from-sci-fi-to-sky-high-the-evolution-of-drones/>
Fig. 1. Kettering Bug, 1917. "From Sci-Fi to Sky High: The Evolution of Drones." Available at: <https://dacaviation.net/from-sci-fi-to-sky-high-the-evolution-of-drones/>

Активно развивались системы управления полетом: от управления в пределах прямой видимости до полета с заданными параметрами курса, высоты и значительным увеличением дальности полета до 300 км [12]. Развитие аэрофотоаппаратуры носило скачкообразный характер. Были созданы высокоскоростные пленочные фотоаппараты (рис. 2) и жесткие крепления для их установки на борт самолета. Количество кадров не превышало 200 шт. [10]. На данном этапе аэрофотосъемку в сельском хозяйстве стали применять для картирования сельскохозяйственных полей с помощью самолетов гражданской авиации [13].

Третий этап – становление дистанционного зондирования Земли (1946-1979 гг.) сопровождался изменением конструкции летательных аппаратов, появлением беспилотных вертолетов и началом эры спутникового мониторинга. Система управления полетом позволяла совершать взлет и посадку с го-

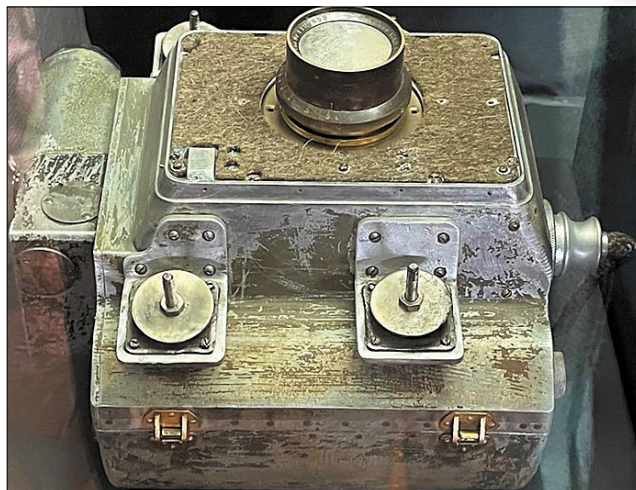


Рис. 2. Авиационная камера АФА-3С. Фото из архива авторов. Экспозиция Музея техники Вадима Задорожного
Fig. 2. AFA-3S aerial camera. Photograph from the authors' archive. On display at the Technical Museum of Vadim Zadorozhny

ризонтальной поверхности и контролировать полет по радиолокационным приборам с дальностью до 150 км [12]. Отмечена тенденция по увеличению количества кадров на пленке. До середины 1960-х годов их число достигало 630, однако с 1970-х оно стало снижаться из-за уменьшения размеров и массы камер, а также замены механических компонентов на электронные [10].

При дешифрировании крупномасштабных аэроснимков, полученных в результате аэрофотосъемки с самолетов, использовались стереоскопы (рис. 3). Эти приборы позволяли изучать рельеф местности в деталях благодаря необходимому оптическому увеличению [14]. Стереоскопы нашли применение в картографии, геодезии и сельском хозяйстве [15].

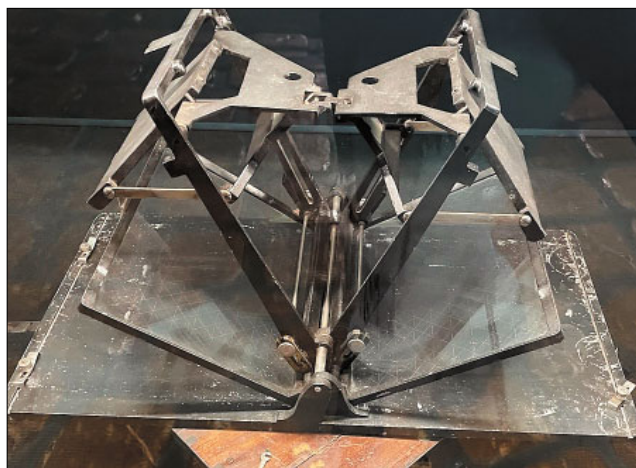


Рис. 3. Стереоскоп. Фото из архива авторов. Экспозиция Музея техники Вадима Задорожного
Fig. 3. Stereoscope. Photograph from the authors' archive. On display at the Technical Museum of Vadim Zadorozhny

В этот период спектральные данные (рис. 4) начали применяться в аграрном секторе для создания вегетационных карт [16]. Одновременно были разработаны первые вегетационные индексы, позволяющие анализировать состояние посевов [17]. Важно отметить, что аэрофотосъемка с БПЛА в сельском хозяйстве тогда еще не применялась.



Рис. 4. Инфракрасное изображение сельскохозяйственных полей, штат Нью-Джерси 1980-1987 гг. U.S. Department of Agriculture. <https://newjersey.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/>

Fig. 4. Infrared image of agricultural fields, New Jersey, 1980–1987. U.S. Department of Agriculture. Available at: <https://newjersey.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/>

На рубеже XX и XXI веков, во время четвертого этапа – зарождения БПЛА мультироторного типа и развития цифрового аэрофотоаппарата (1980-2012 гг.) миниатюризация систем управления полетом позволила создать полетные контроллеры для малых БПЛА, обеспечивающие стабильность и дальность полета до 1 км. История развития полетных контроллеров для БПЛА берет начало в 2009 г. [12]. В этот период энтузиасты начали использовать гироскопы и акселерометры, извлеченные из контроллеров *Wii MotionPlus* и *Wii Nunchuk* игровой консоли *Nintendo*, в связке с платформой *Arduino*. Это позволило создать первую доступную систему стабилизации для мультироторных летательных аппаратов. Данный эксперимент положил начало проекту с открытым исходным кодом *MultiWii*, в рамках которого была разработана специализированная плата полетного контроллера (рис. 5) на базе 8-битного микропроцессора *Atmel*.

В этот же период появились цифровые камеры с матрицей нового поколения, которые записывали изображения по стандарту сжатия *JPEG* на *sd*-карту, увеличив емкость хранилищ до 2000 снимков [10]. Отмечена тенденция к установлению стандартов создания БПЛА и программного обеспечения для них, а также активного развития технологий хранения данных. БПЛА не использовались для задач сельского хозяйства в связи с компромиссом между безопасным полетом и аэрофотосъемкой.

Пятый этап – становление готовых решений БПЛА (январь-октябрь 2013 г.) завершился появлением пер-

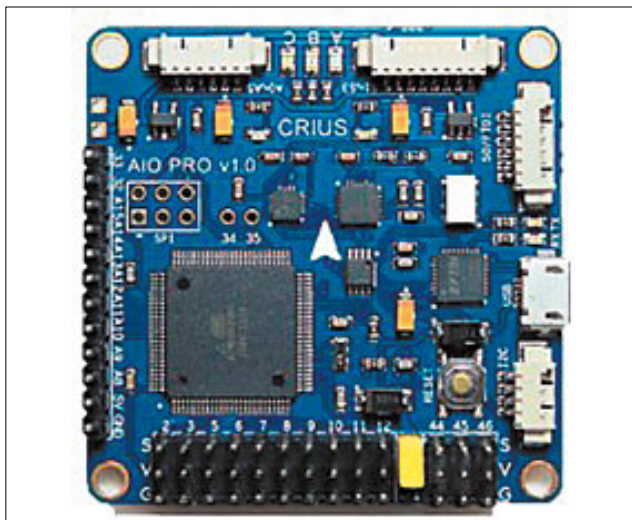


Рис. 5. Полетный контроллер *MultiWii* [12]

Fig. 5. *MultiWii* flight controller [12]

вого серийного коммерческого БПЛА с камерой, максимальной взлетной массой до 30 кг. Активное развитие цифровизации, научных исследований в области оптики, фотоники, нанотехнологий и создание подвесных систем стабилизации способствовали интеграции камеры с разрешением 12 Мп на борт БПЛА. Система управления полетом обеспечивала базовые функции автопилотирования, но управление камерой отсутствовало. БПЛА использовались в основном для художественной съемки, но находили применение и в сельском хозяйстве [12].

Шестой этап – интеграция камеры и интеллектуальных функций автопилота в систему управления полетом (октябрь 2013 г. – н.в.) характеризуется интеграцией интеллектуальных функций в полетный контроллер, что позволило выполнять полет и управлять камерой со смартфона. В 2016 г. были утверждены термины БВС вместо БПЛА и БАС. Отмечена тенденция по увеличению разрешения цифровых камер и количества изображений. Современные камеры снимают с разрешением 61 Мп и способны записывать до 14000 изображений [10].

Центр ВИМ стал развивать направление по использованию БАС с 2016 г., а первые полевые исследования были проведены уже в 2017 г. Совершенствование системы управления полетом и камер повысило безопасность полета и способствовало более активному использованию БАС в сельском хозяйстве (рис. 6). Применение технологий искусственного интеллекта при анализе результатов аэрофотосъемки (изображения, ортофотопланы, цифровые модели местности, вегетационные карты) открыло новые возможности для оценки сельскохозяйственных угодий: состояние растений [18], распознавание заболеваний [19], обнаружение полегания [20], прогнозирование урожая и фенотипирование сортов [21].



Рис. 6. Мониторинг посевов озимой пшеницы с помощью БВС: 1 – DJI Inspire 1, 28.04.2018, Рязанская область; 2 – DJI Matrice 200v2, 23.06.2025, Владимирская область
 Fig. 6. Monitoring winter wheat crops using UAVs: 1 – DJI Inspire 1, 28 April 2018, Ryazan Region; 2 – DJI Matrice 200 v2, 23 June 2025, Vladimir Region

На основе проведенного ретроспективного анализа выявлены тенденции изменения дальности и продолжительности полета. Технические возможности БПЛА претерпели значительную эволюцию. В XX в. двигатели внутреннего сгорания обеспечивали большую дальность (рис. 7.1), чему способствовало отсутствие сложного дистанционного контроля и одноразовость выполняемых задач. С переходом в XXI в. на электродвигатели и аккумуляторные батареи время полета значительно сократилось, а внедрение строгих протоколов связи дополнительно ограничило дальность. Однако современный прогресс в области аккумуляторов и энергоэффективности позволяет постепенно преодолевать эти ограничения, увеличивая продолжительность полета современных БВС.

Продолжительность полета БПЛА зависела от типа используемого двигателя (рис. 7.2). Двигатели внутреннего сгорания и реактивные двигатели обеспечивали длительное время полета. Переход на электродвигатели и аккумуляторные батареи сократил время полета. Однако, благодаря развитию аккумуляторных батарей и повышению энергоэффективности, наблюдается постепенное увеличение времени полета современных БВС.

Первые системы управления для беспилотных летательных аппаратов появились еще в 1917 г., но основной скачок в их развитии произошел в последние десять лет. Эволюция функциональных возможностей, представленная на графике (рис. 8), выглядит следующим образом. До 1942 г. реализовывались лишь базовые функции управления; в 1942-1944 гг. повысилась точность по курсу; с 1950 г. стал возможен контролируемый полет по приборам радиолокационным способом. Переломным моментом стало появление в 2009 г. полетного контроллера, который обеспечил стабильность, автономность и интеллектуальное управление, открыв новые перспективы для аэрофотосъемки в аграрном секторе.

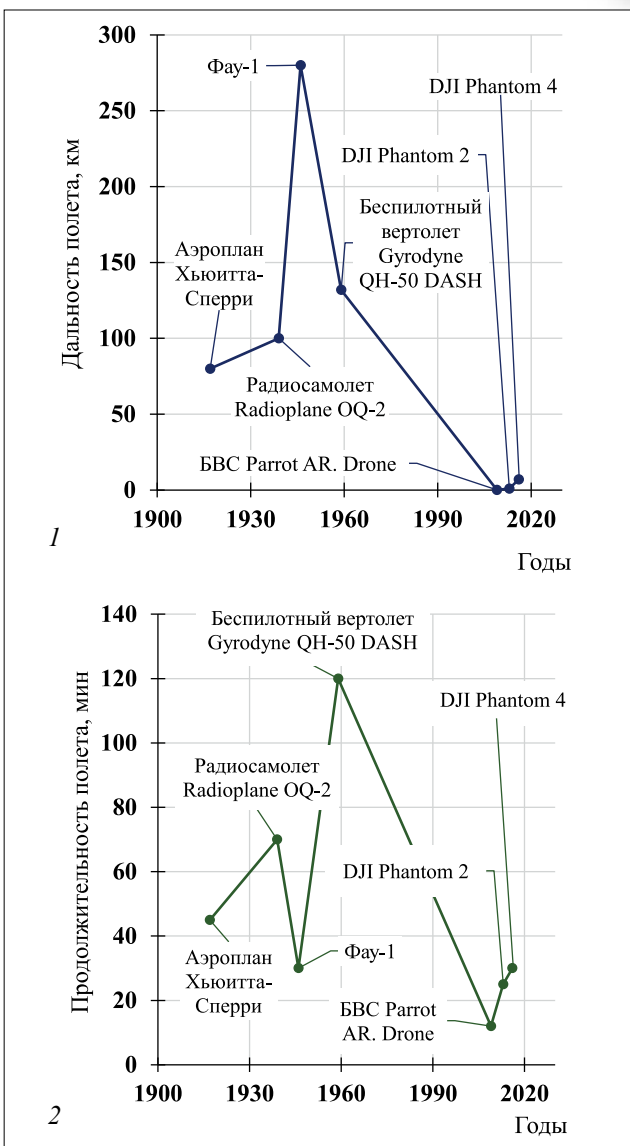


Рис. 7. Тенденции изменения дальности и продолжительности полета БПЛА: 1 – дальность полета; 2 – продолжительность полета

Fig. 7. Trends in UAV flight range and endurance: 1 – flight range; 2 – flight endurance

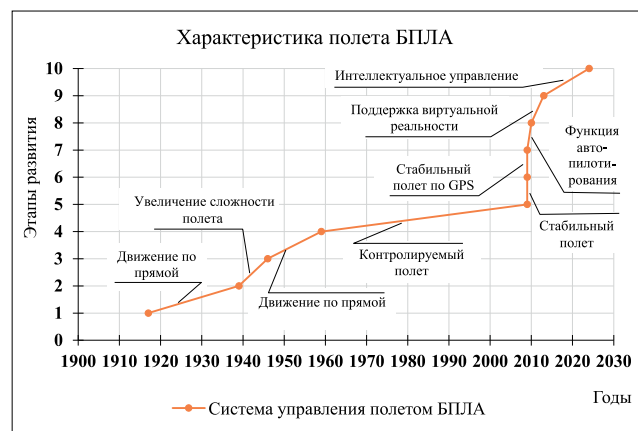


Рис. 8. Эволюция функций системы управления полетом БВС
 Fig. 8. Evolution of UAV flight control system functions

Таблица ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОТОМ БВС И СРЕДСТВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF FLIGHT CONTROL SYSTEM AND AERIAL IMAGING EQUIPMENT FOR UAV						
Этап развития	Первые экспериментальные разработки аэрофотоаппаратуры	Аэрофотосъемка с летательных аппаратов	Становление дистанционного зондирования Земли	Зарождение БПЛА мультитроторного типа и развитие цифрового аэрофотоаппарата	Становление готовых решений БПЛА	Интеграция камеры и интеллектуальных функций автопилота в систему управления полетом
Годы	1858-1908	1909-1945	1946-1979	1980-2012	Январь-октябрь 2013	Октябрь 2013 – н.в.
Тип БПЛА	–	БПЛА самолетного типа	Беспилотные вертолеты	Заложены стандарты для создания серийных БПЛА	Первые серийные БПЛА мультитроторного типа, массой до 30 кг	Серийные БВС мультитроторного типа, массой до 30 кг
Дальность полета БПЛА, км	–	До 300	До 150	До 1	До 0,05	До 7
Продолжительность полета БПЛА, мин	–	До 70	До 120	До 12	До 25	До 30
Система управления полетом	–	Управление в пределах прямой видимости/полет по заданным курсу и высоте	Взлет/посадка с горизонтальной поверхности, дистанционное управление, контроль по радиолокации	Полетные контроллеры – основа стабильного полета	Полетный контроллер <i>Naza-M Lite</i> , автопилот (базовые функции), управление камерой отсутствует	Полетные контроллеры с интеллектуальными функциями, система обнаружения препятствий, управление со смартфона, управление камерой
Средства аэрофотосъемки	Первые портативные камеры и механические крепления	Высокоскоростные пленочные аппараты, жесткие крепления камер	Высокоскоростные пленочные аппараты, системы креплений и стабилизации камер	Цифровые CMOS-камеры, стабилизация камер	Миниатюрные цифровые CMOS-камеры, стабилизация камер	Интегрированные миниатюрные цифровые спектральные камеры, трехосевые подвесы стабилизации камер
Количество кадров	1	До 200	До 630	До 50	До 2000	До 14 000
Тип получаемых изображений	Сепия	Черно-белое, цветное	Цветное, спектральное	Цветное, спектральное	Цветное, спектральное	Цветное, спектральное
Летательный аппарат для сбора изображений	Воздушные шары и змеи, птицы	Самолеты гражданской авиации	Самолеты гражданской авиации, спутники	Самолеты гражданской авиации, спутники	Самолеты гражданской авиации, спутники	БВС, спутники

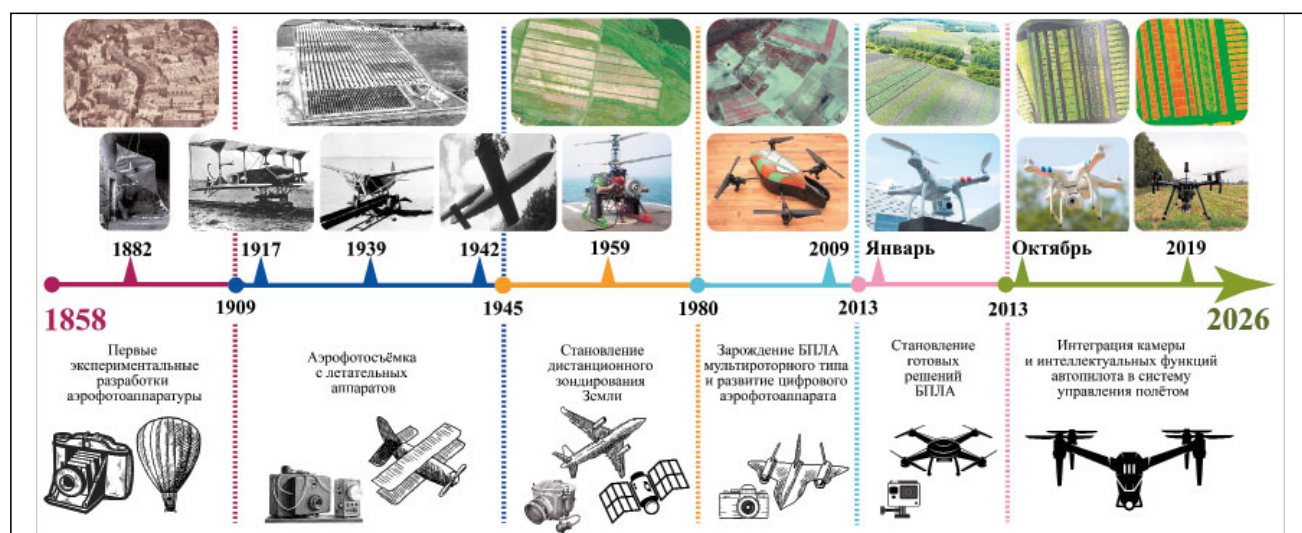


Рис. 9. Основные этапы развития системы управления полетом и средств аэрофотосъемки

Fig. 9. Main stages in the development of flight control systems and aerial imaging equipment

Таким образом, в результате проведенного анализа за исследуемый период выявлены основные тенденции развития системы управления полетом и средств аэрофотосъемки (*таблица*):

- изменились типы БПЛА, камер и получаемых изображений;
- улучшился тип управления полетом;
- увеличилась дальность и продолжительность полета;
- увеличилось число датчиков для стабилизации полета;
- появилась система обнаружения препятствий;
- уменьшился размер системы управления полетом и камер;
- улучшились режимы полета;
- усовершенствовался метод взлета/посадки;
- появились интерфейсы для использования подвижного оборудования;
- повысилось разрешение камер и объем носителей;
- появились специальные стабилизированные подвесы для крепления камер.

На *рисунке 9* показаны основные этапы развития системы управления полетом и средств аэрофотосъемки, связанные с изменением типа собираемых данных, типа камер и летательных аппаратов, на которые они устанавливались. Проведенный ретроспективный анализ показывает, что развитие происходило скачкообразно и было связано с политической, социальной, экономической ситуацией в мире и уровнем развития технологий в смежных областях. С конца 2013 г. интеграция камеры в систему управления полетом позволила акцентировать внимание внешнего пилота на съемке и не отвлекаться на управление, что способствовало их применению в сельском хозяйстве.

Развитие на ближайшее десятилетие будет заключаться во внедрении искусственного интеллекта в бортовые системы БВС. Это объясняется растущим спросом на точность и эффективность сбора данных в сельском хозяйстве, а также значительными достижениями в технологиях искусственного интеллекта, которые повышают автономность БАС и качество принимаемых решений.

Приоритетными направлениями развития на ближайшее время, 2030-е годы, будут:

- объединение датчиков, интерпретация окружающей среды;

- компьютерное зрение и обнаружение объектов;
- автономная навигация и планирование маршрута;
- принятие решений и контроль;
- роевой интеллект;
- машинное обучение и обучение моделей;
- периферийные вычисления и обработка в реальном времени.

Искусственный интеллект, внедренный в БАС, открывает новые возможности для прогнозирования урожая, автоматизации процессов мониторинга, внесения веществ, обработки данных и принятия управленческих решений.

Выводы. В результате ретроспективного анализа выявлено шесть этапов развития систем управления полетом и средств аэрофотосъемки, обусловленных влиянием политических, социальных и экономических факторов. Развитие прошло путь от экспериментальных съемок с воздушных шаров до современных интеллектуальных беспилотных авиационных систем. Установлено, что прогресс в области миниатюризации камер и систем управления обеспечил значительный рост возможностей БВС взлетной массой менее до 30 кг. За последнее десятилетие развитие цифровых камер способствовало увеличению их спектрального и пространственного разрешения, что позволило создавать карты с точностью менее 1 см/пикс. Современные полетные контроллеры, оснащенные интеллектуальными функциями, не только стабилизируют полет, но и координируют работу всех бортовых систем и управляют камерой в реальном времени.

Сегодня аэрофотосъемка с БАС является высокоточным инструментом для решения задач сельского хозяйства: от оценки состояния посевов по цифровым картам до создания детализированных вегетационных карт селекционных и семеноводческих участков. Интеграция цифровых камер, интеллектуальных систем управления и применение технологий искусственного интеллекта на борту БВС способствуют формированию нового подхода к мониторингу сельскохозяйственных угодий, обеспечивая не только высокую точность данных, но и оперативность принятия управленческих решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гайсин Р.С. Предел технологической эволюции сельского хозяйства и возможность его преодоления // *Проблемы современной экономики*. 2014. № 4(52). С. 41-45. EDN: TJHWFH.
2. Гусев Е.М. Эволюция технологий в земледелии: от «серых» до «зеленых» // *Аридные экосистемы*. 2020. Т. 26, №1(82). С. 3-12. EDN: CZCANB.
3. Коротченя В.М. История технологического развития сельского хозяйства (растениеводства) // *Экономика сельского хозяйства России*. 2019. №7. С. 28-33. DOI: 10.32651/197-28.
4. Еремин С.Г. Цифровая трансформация сельского хозяйства: возможности и вызовы внедрения технологий больших данных // *Аграрная наука*. 2025. №2. С. 36-38. EDN: NILBNC.
5. Винничек Л.Б., Омаров М.М., Омарова Н.Ю. Проблемы

- мы и перспективные направления развития сельского хозяйства России до 2030 года // *Экономика сельского хозяйства России*. 2025. №6. С. 2-12. DOI: 10.32651/256-2.
6. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерной науки в условиях цифровизации сельского хозяйства // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2025. №3. С. 45-53. DOI: 10.31857/S2500262725030081.
 7. Гостев А.В. Развитие цифровизации земледелия на примере разработки современных агротехнологий с использованием цифровых систем // *Достижения науки и техники АПК*. 2025. Т. 39. №1. С. 4-9. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_1_4.
 8. Альт В.В., Ценч Ю.С., Савченко О.Ф., Солошенко А.А. Методологические основы интеграции беспилотных летательных аппаратов в систему сельскохозяйственных машин // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2025. №4. С. 59-67. DOI: 10.7868/S3034582025040114.
 9. Лачуга Ю.Ф., Лобачевский Я.П., Алферов А.А. Сельскохозяйственная наука в развитии агропромышленного комплекса Российской Федерации // *Вестник Российской академии наук*. 2025. №6. С. 3-8. DOI: 10.7868/S3034520025060019.
 10. Курбанов Р.К., Ценч Ю.С., Захарова Н.И. Основные тенденции в развитии технологии аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 86-95. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-86-95.
 11. Краснопевцев Б.В. Основные события истории фотограмметрии и воздушной съемки до 1918 года // *Геодезия и картография*. 1998. №8. С. 55-59.
 12. Ценч Ю.С., Курбанов Р.К. История развития систем управления беспилотных воздушных судов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 4-15. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-4-15.
 13. Monmonier M. Aerial photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conservation benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002. N68(12). 1257-1261.
 14. Антипов И.Т. Развитие фотограмметрии в России // *Гео-Сибирь*. 2010. NS. С. 97-132. EDN: PFOGOP.
 15. Комиссаров А.В., Головина Л.А. История развития кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования // *Вестник СГУГиТ*. 2023. Т. 28. №6. С. 173-179. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-6-173-179.
 16. Гольдман Л.М. Применение цветной аэросъемки для изучения местности (дешифрирование цветных аэроснимков) // *Труды Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии*. 1960. N137. С. 57-63.
 17. Mulla D.J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*. 2013. N114(4). 358-371.
 18. Reyes-Rosas A., Lara-Viveros F.M., Chávez-Cerón L., Khamkure S. Estimation of water potential in corn plants using machine learning techniques with UAV imagery and evaluating the effect of flying height. *Engineering Proceedings*. 2023. N56(1). 157. DOI: 10.3390/ASEC2023-15882.
 19. Nesar S.B., Nugent P.W., Zidack N.K., Whitaker B.M. Unmanned aerial vehicle-based hyperspectral imaging for potato virus Y detection: machine learning insights. *Remote Sensing*. 2025. N17(10). 1735. DOI: 10.3390/rs17101735.
 20. Sarkar S., Zhou J., Scaboo A. et al. Assessment of soybean lodging using UAV imagery and machine learning. *Plants*. 2023. N12(16). 2893. DOI: 10.3390/plants12162893.
 21. Tueros M., Galindo M., Alvarez J. et al. Varietal identification and yield estimation in potatoes using UAV RGB imagery in the southern highlands of Peru. *AgriEngineering*. 2026. N8(2). 65. DOI: 10.3390/agriengineering8020065.

REFERENCES

1. Gaysin R.S. The limit of technological evolution in agriculture and the possibility of overcoming it. *Problems of Modern Economics*. 2014. N4(52). 41-45 (In Russian). EDN: TJHWFH.
2. Gusev E.M. Evolution of agricultural technologies: from «gray» to «green». *Arid Ecosystems*. 2020. Vol. 26. N1(82). 3-12 (In Russian). EDN: CZCAHB.
3. Korotchenya V.M. History of technological development of agriculture (crop production). *Economics of Agriculture of Russia*. 2019. N7. 28-33 (In Russian). DOI: 10.32651/197-28.
4. Eremin S.G. Digital transformation of agriculture: opportunities and challenges of implementing big data technologies. *Agrarian Science*. 2025. N2. 36-38 (In Russian). EDN: NILBNC.
5. Vinnichuk L.B., Omarov M.M., Omarova N.Yu. Problems and promising areas of development of agriculture in Russia until 2030. *Economics of Agriculture of Russia*. 2025. N6. 2-12 (In Russian). DOI: 10.32651/256-2.
6. Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Shogonov Yu.Kh. Scientific and technical achievements of agro-engineering science in the conditions of digitalization of agriculture. *Russian Agricultural Sciences*. 2025. N3. 45-53 (In Russian). DOI: 10.31857/S2500262725030081.
7. Gostev A.V. Development of agriculture digitalization on the example development of modern agricultural technologies using digital systems. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2025. Vol. 39. N1. 4-9 (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2025_39_1_4.
8. Alt V.V., Tsench Yu.S., Savchenko O.F., Soloshenko A.A. Methodological foundations for the integration of unmanned aerial vehicles into agricultural machinery systems. *Russian Agricultural Sciences*. 2025. N4. 59-67 (In Russian). DOI: 10.7868/S3034582025040114.

9. Lachuga Yu.F., Lobachevsky Ya.P., Alferov A.A. Agricultural science in the development of the agro-industrial complex of the Russian Federation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2025. N6. 3-8 (In Russian). DOI: 10.7868/S3034520025060019.
10. Kurbanov R.K., Tsench Yu.S., Zakharova N.I. Major trends in the development of aerial photography technology for agricultural lands. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 86-95 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-86-95.
11. Krasnopevtsev B.V. Main events in the history of photogrammetry and aerial surveying before 1918. *Geodesy and Cartography*. 1998. N8. 55-59 (In Russian).
12. Tsench Yu.S., Kurbanov R.K. History of unmanned aircraft flight controller development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. 17(3). 4-15 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-4-15.
13. Monmonier M. Aerial photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conservation benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002. N68(12). 1257-1261.
14. Antipov I.T. Development of photogrammetry in Russia. *Geo-Siberia*. 2010. NS. 97-132 (In Russian). EDN: PFOGOP.
15. Komissarov A.V., Golovina L.A. History of the development of the Department of Photogrammetry and Remote Sensing. *Vestnik Siberian State University of Geosystems and Technologies*. 2023. Vol. 28. N6. 173-179 (In Russian). DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-6-173-179.
16. Goldman L.M. Application of color aerial photography for terrain studies (interpretation of color aerial photographs). *Proceedings of the Central Research Institute of Geodesy, Aerial Survey and Cartography*. 1960. 137. 57-63 (In Russian).
17. Mulla D.J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*. 2013. N114(4). 358-371.
18. Reyes-Rosas A., Lara-Viveros F.M., Chávez-Cerón L. et al. Estimation of water potential in corn plants using machine learning techniques with UAV imagery and evaluating the effect of flying height. *Engineering Proceedings*. 2023. 56(1). 157. DOI: 10.3390/ASEC2023-15882.
19. Nesar S.B., Nugent P.W., Zidack N.K. et al. Unmanned aerial vehicle-based hyperspectral imaging for potato virus Y detection: machine learning insights. *Remote Sensing*. 2025. 17(10). 1735. DOI: 10.3390/rs17101735.
20. Sarkar S., Zhou J., Scaboo A. et al. Assessment of soybean lodging using UAV imagery and machine learning. *Plants*. 2023. 12(16). 2893. DOI: 10.3390/plants12162893.
21. Tueros M., Galindo M., Alvarez J. et al. Varietal Identification and yield estimation in potatoes using UAV RGB imagery in the southern highlands of Peru. *AgriEngineering*. 2026. 8(2). 65. DOI: 10.3390/agriengineering820065.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Лобачевский Я.П. – научное руководство, формирование основных направлений исследования;

Ценч Ю.С. – научное руководство, формирование задач исследования;

Курбанов Р.К. – обработка данных;

Захарова Н.И. – сбор и анализ материалов по теме исследования, подготовка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Lobachevsky Ya.P. – scientific supervision, defining the main research perspectives;

Tsench Yu.S. – scientific guidance, formulation of the research objectives;

Kurbanov R.K. – data processing;

Zakharova N.I. – collection and analysis of materials on the research topic; manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.04.2026

04.05.2026