

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**Н.В. Трофимов, И.Ф. Яхин**

Реферат. Растущий мировой спрос на продовольствие и увеличение населения планеты стимулируют развитие рынка сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Среднегодовой темп роста этого рынка составляет 23-25%. БПЛА повышают эффективность аграрного сектора за счет автоматизации процессов мониторинга состояния посевов, прогнозирования урожайности, дифференцированного внесения агрохимикатов и биологических средств защиты растений. Внедрение беспилотных технологий в российском агропромышленном комплексе обеспечивает потенциал ежегодной экономии до 300 млрд рублей благодаря снижению потерь урожая, оптимизации использования агрохимикатов и сокращению расходов на ГСМ и трудовые ресурсы. Анализ рыночной структуры показывает доминирование сегмента аппаратного обеспечения (67,3%), при этом наибольшую выручку генерируют продажи дронов для распыления агрохимикатов (40,1%). Опыт компании XAG (КНР) подтверждает эффективность использования дронов-опрыскивателей, фиксируя снижение расхода пестицидов на 30%. Однако существуют ряд проблем, ограничивающих широкое применение агродронов: ограниченная грузоподъемность, неравномерное покрытие при ультрамалообъемном опрыскивании чувствительных культур, зависимость от типа культур и погодных условий, недостаточная емкость аккумуляторов и отсутствие четкой системы классификации и регулирования. В РФ классификация дронов осуществляется согласно ФЗ №60 "Воздушный кодекс РФ" преимущественно по массе (до 0,25 кг, 0,25-30 кг, более 30 кг), в то время как в ЕС согласно Регламенту (ЕС) 2019/947 действует комплексная система классификации по категориям риска ("открытая", "специальная", "сертифицированная") с дополнительными подкатегориями, учитывающими не только массу, но и технические характеристики, тип полетов и возможности. В России дополнительными барьерами являются нехватка специализированных препаратов для ультрамалообъемного опрыскивания, недостаток специализированных полигонов для испытаний и дефицит квалифицированных кадров. Для решения этих проблем необходима разработка новой классификации дронов, создание специализированных препаратов и развитие инфраструктуры для испытаний и обучения специалистов. Государственная поддержка и регулирование, включая «Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года», играют ключевую роль в стимулировании внедрения дронов в сельское хозяйство и формировании технологического суверенитета России.

Ключевые слова: агродроны, опрыскивание, сельское хозяйство, кадры, государственная поддержка.

Для цитирования: Трофимов Н.В., Яхин И.Ф. Проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 2(14). С. 69-76.

Введение. Рынок беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в России, используемых в коммерческих целях, растёт более чем на 60% ежегодно, согласно данным компании «Ростелеком В2Е». Согласно последнему отчету MarketsandMarkets "Agricultural Drones Market by Offering" (2023), среднегодовой темп роста мирового рынка сельскохозяйственных БПЛА составляет 23,4% на период 2023-2028 годов. По данным Mordor Intelligence "Agricultural Drones Market Size & Share Analysis" (2023), CAGR рынка агродронов прогнозируется на уровне 25,1% до 2028 года (рис.) [1, 2, 3].

Несмотря на широкое использование БПЛА в логистике и энергетике, наибольший потенциал роста наблюдается в сельском хозяйстве, где беспилотные технологии способны решить критические проблемы продовольственной безопасности и ресурсоэффективности. По данным отраслевых аналитиков (MarketsandMarkets, 2023), сегмент сельскохозяйственных БПЛА демонстрирует среднегодовой темп роста 23,4%, что превышает показатели в других отраслях. Это объясняется растущей потребностью в прецизионном

земледелии, сокращении химической нагрузки на окружающую среду и оптимизации сельскохозяйственных операций в условиях глобальных климатических изменений и необходимости повышения урожайности. Агропромышленный комплекс становится ключевым драйвером инноваций в сфере беспилотных технологий благодаря разнообразию применений – от мониторинга состояния посевов до точечного внесения агрохимикатов и биологических средств защиты растений.

Развитие этого направления стимулируется увеличением инвестиций со стороны коммерческих организаций, улучшением регулирования и созданием необходимой инфраструктуры. Основными потребителями БПЛА до 2028 года, по информации от «Ростелеком В2Е», станут логистика, сельское хозяйство, строительство и энергетика [4, 5, 6].

В настоящее время беспилотные аппараты широко используются для обеспечения доступа в интернет в удалённых районах, мониторинга объектов, таких как здания, высотные конструкции и строительные площадки, а также для исследования природных объектов, транспортировки и доставки товаров

и грузов [7, 8, 9].

Основные преимущества БПЛА для бизнеса включают возможность оптимизации и упрощения

рабочих процессов, сокращение трудовых затрат, ускорение сбора данных и минимизацию влияния человеческого фактора [10, 11, 12].

Российский рынок БПЛА в коммерческом секторе

в млрд рублей

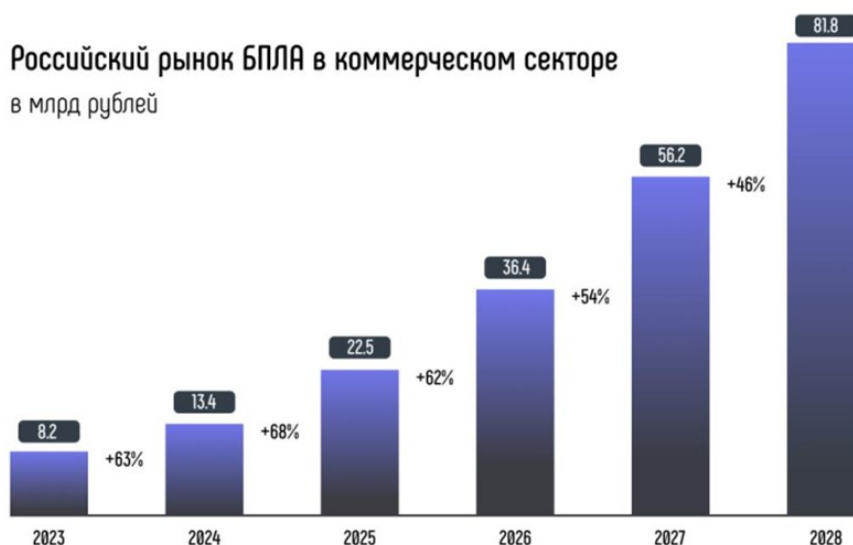


Рисунок - Динамика развития российского рынка БПЛА

Однако существуют факторы, сдерживающие дальнейшее развитие этой отрасли и более широкое внедрение БПЛА, такие как сложности в регулировании, недостаточное развитие инфраструктуры и ограниченное распространение информации о уже реализованных проектах с использованием дронов в коммерческих целях [13, 14, 15].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью оптимизации аграрной деятельности, повышения её эффективности и устойчивости, а также поиска инновационных решений для сельского хозяйства [16, 17, 18].

Цель исследования заключается в анализе проблем и определении перспектив применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве.

Условия, материалы и методы. В ходе подготовки статьи был проведён всесторонний анализ 18 актуальных источников, релевантных междисциплинарной теме на стыке сельского хозяйства и беспилотных технологий. Поиск литературы осуществлялся в специализированных базах данных: Agricola (National Agricultural Library), CAB Abstracts, IEEE Xplore, Scopus и Web of Science, РИНЦ доступных на платформе elibrary.ru и охватывающих период с 2014 по 2024 год.

При написании статьи были рассмотрены новейшие исследования, посвящённые изучению эффективности внедрения современных технологий в сельское хозяйство, включая использование беспилотных авиационных систем.

Критерии отбора источников:

1. Временной диапазон: 2014-2024 года, с приоритетом на публикации последних 5 лет (не менее 60% источников);

2. Индексация в международных базах данных (Scopus, Web of Science) или входящие в перечень ВАК для российских источников (не менее 50% источников);

3. Тематическое соответствие.

Выбор фокуса на специализированные сельскохозяйственные и технические базы данных обусловлен междисциплинарным характером исследования, требующим анализа как агрономических, так и инженерно-технических аспектов применения БПЛА в аграрном секторе.

Результаты и обсуждение. Сельское хозяйство занимает одно из ведущих мест в мире и в России по внедрению беспилотных технологий. Согласно отчету J'son & Partners Consulting «Российский рынок дронов в сельском хозяйстве 2023-2030» (2023, с. 42), сельскохозяйственные применения БПЛА составляют 32% от общего рынка коммерческих беспилотных систем в России, что делает аграрный сектор вторым по объёму после мониторинга инфраструктуры (38%). При этом прогнозируется рост доли сельскохозяйственного сегмента до 37% к 2027 году за счет расширения практик дифференцированного внесения средств защиты растений и удобрений.

Современные агротехнологии характеризуются разнообразием форматов применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), охватывающих широкий спектр сельскохозяйственных систем – от пастбищного животноводства до растениеводства и аквакультуры. БПЛА выполняют ключевую функцию в повышении операционной эффективности аграрного сектора за счёт автоматизации процессов мониторинга фитосанитарного состояния посевов, прогнозирования урожайности, дифференцированного внесения агрохимикатов

и реализации принципов точного земледелия.

Согласно отчету Национальной технологической инициативы «АЭРОНЕТ» «Применение беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве» внедрение беспилотных технологий в российском агропромышленном комплексе может обеспечить ежегодную экономию до 300 млрд рублей. Данная оценка основана на комплексном анализе трех ключевых факторов: 1) снижение потерь урожая за счет своевременного выявления болезней и вредителей (до 15% урожая или около 120 млрд рублей в масштабах страны); 2) оптимизация использования агрохимикатов благодаря дифференцированному внесению (экономия до 25% или около 100 млрд рублей в год); 3) сокращение расходов на горюче-смазочные материалы (ГСМ) и трудовые ресурсы (около 80 млрд рублей).

Актуализация вопросов продовольственной безопасности выступает дополнительным драйвером развития рынка сельскохозяйственных БПЛА. Согласно данным Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН, к 2050 году население мира достигнет примерно 9,7 миллиарда человек. 2050 году обусловит необходимость увеличения объемов производства аграрной продукции на 70%, что требует интенсификации технологических решений.

Рыночная структура сельскохозяйственных дронов в 2022 году характеризовалась преобладанием сегмента аппаратного обеспечения (67,3% доли рынка). Внутри этого сегмента наибольшую выручку генерировали продажи дронов, предназначенных для распыления агрохимикатов (40,1% от общей выручки на аппаратное обеспечение). Остальная часть приходилась на дроны для мониторинга, картографирования и других задач. Сегменты программного обеспечения и сервисных услуг (включая услуги по обработке данных, консультирование и т.д.) занимали 32,7% рынка тогда как услуги мониторинга посевов и прецизионного картографирования составили 28,5% (AgroDrone Market Report, 2023). Практическим подтверждением эффективности технологий служит опыт компании XAG (KНР), реализовавшей пилотные проекты по применению дронов-опрыскивателей для культур риса, пшеницы, кукурузы и хлопчатника с документально зафиксированным снижением расхода пестицидов на 30%.

Согласно отчету Vantage Market Research, мировой рынок сельскохозяйственных дронов демонстрирует значительный рост. Объем рынка в 2022 году оценивался до 2 млрд долларов США, а к 2030 году прогнозируется его увеличение до 23 млрд долларов США.

Быстрое развитие рынка агродронов связано с несколькими ключевыми причинами:

Повышение спроса на точное земледелие – технологии, основанные на анализе данных, помогают оптимизировать выращивание культур и рационально использовать ресурсы.

Совершенствование технологий –

современные модели дронов обладают расширенным функционалом и способны решать больше задач.

Автоматизация процессов – применение дронов сокращает трудозатраты, повышает эффективность и снижает издержки.

Экономия ресурсов – оптимизация их использования и увеличение урожайности способствуют снижению затрат.

Государственные меры поддержки – законодательное регулирование и субсидии стимулируют внедрение дронов в агросектор.

Актуальные тенденции в использовании агродронов:

1. Проведение мультиспектральной съемки для мониторинга за состоянием растений, где дроны с мультиспектральными камерами фиксируют данные в различных диапазонах света, выявляя невидимые глазу проблемы: недостаток питания, дефицит влаги, поражение вредителями. Эта технология также позволяет оценивать содержание хлорофилла, биомассу и индекс листовой поверхности – важные показатели состояния растений.

2. Обработка данных в оперативном режиме, где системы управления информацией обеспечивают сбор, анализ и передачу данных с дронов фермерам или в облачные хранилища. Это позволяет быстро принимать решения – корректировать полив, вносить удобрения или обрабатывать растения от вредителей. Кроме того, фермеры могут обмениваться данными с агрономами и консультантами для получения профессиональных рекомендаций.

3. Использование роя БПЛА (swarm-системы) — группы дронов, действующих согласованно, — повышает производительность и масштабируемость сельскохозяйственных работ. Синхронизация действий дронов в рое осуществляется с помощью алгоритмов коллективного интеллекта и специализированных сетевых протоколов, например, на базе стандарта IEEE 802.11s, что позволяет оптимизировать выполнение задач в сложных ландшафтах. Рои дронов способны расширить зону покрытия, включая труднодоступные участки, и ускорить сбор мультиспектральных данных.

4. Применение БПЛА с навесным оборудованием для проведения тепловизионной съемки. Такие аппараты фиксируют температурные аномалии, помогая выявлять засуху или возгорания. В животноводстве они используются для мониторинга состояния скота – контроля температуры тела, здоровья и поведения животных.

В то же время для масштабного применения существуют ряд проблем внедрения БПЛА в сельском хозяйстве:

- ограниченная грузоподъемность – большинство коммерческих дронов не способны перевозить большие объемы жидкостей (до 300 л/га), что делает их менее эффективными для обработки гербицидами по сравнению с традиционной техникой. Однако они остаются полезными для точечного внесения СЗР

и мониторинга сложных участков.

- зависимость от типа культур – на чувствительных культурах (например, плодовых) ультрамалое опрыскивание (ULV) может давать неравномерное покрытие. В то же время на пропашных культурах (кукуруза, соя) применение БПЛА сокращает затраты на обработку на 20–25% по сравнению с традиционной наземной техникой (самоходными и тракторными опрыскивателями). Согласно исследованию Tripicchio et al. (2023) «Cost-effectiveness analysis of UAV-based spraying compared to conventional machinery in row crops», экономия достигается за счет снижения расхода рабочего раствора на 30–40%, сокращения потерь от механического повреждения растений, которые при использовании наземной техники составляют до 4% урожая, а также меньших затрат на ГСМ и обслуживание техники.

В отличие от традиционной сельскохозяйственной техники, создающей значительное давление на почву (2–3 кг/см² для колесных тракторов класса МТЗ-82 и 1,5–2,0 кг/см² для гусеничных тракторов), что приводит к уплотнению пахотного горизонта, беспилотные летательные аппараты работают без контакта с поверхностью поля. Это позволяет проводить обработки в периоды повышенной влажности почвы (до 95%), когда использование наземной техники невозможно или приводит к необратимому нарушению структуры почвы. Это позволяет обрабатывать поля даже при высокой влажности (до 95%), минимизируя потери урожая.

Следующим существенным недостатком, ограничивающим использование агродронов в России является отсутствие четкой системы классификации и регулирования их применения. В настоящее время действующее законодательство классифицирует дроны исключительно по их массе, что не отражает их реальные характеристики и назначение.

Росавиация регистрирует дроны, начиная от игрушечных массой 150 граммов и заканчивая геодезическими, однако такой подход не даёт представления о реальных возможностях и особенностях каждого типа дронов. Например, дрон массой 20 кг, используемый в геологоразведке, может летать на высоте 300 м и развивать скорость до 80 км/час, в то время как агродрон той же массы, предназначенный для работы на небольшой высоте над землёй, может летать на высоте всего 3 метра и развивать скорость до 18 км/час.

Учитывая разнообразие существующих на рынке дронов, предназначенных для различных целей, актуальной задачей является разработка классификации дронов не только по массе, но и по их назначению. Это позволит более точно регулировать использование БПЛА в зависимости от их конкретных характеристик и возможностей, что, в свою очередь, повысит эффективность и безопасность их применения в сельском хозяйстве и других областях.

И наконец, существенной проблемой,

ограничивающей широкое применение агродронов, является отсутствие специализированных препаратов для ультрамалообъёмного опрыскивания. Для достижения реального эффекта защиты сельскохозяйственных культур необходимо обеспечить норму расхода рабочей жидкости фунгицидов не менее 50 л/га. Однако, учитывая необходимость внесения, например, 150 л/га рабочего раствора по пшенице против фузариоза колоса, возникает вопрос о возможности покрытия такой площади имеющимися объёмами. Таким образом, применение дронов целесообразно при условии соответствия технологии распыления типу культуры и характеру защитных мероприятий. Для крупномасштабных обработок с высоким расходом рабочей жидкости дроны менее эффективны, но при точечном внесении препаратов или работе на труднодоступных участках они имеют значительные преимущества. Для достижения реального эффекта защиты сельскохозяйственных культур необходимо обеспечить норму расхода рабочей жидкости фунгицидов не менее 200 капель на квадратный метр. Для пшеницы в стадии колошения при среднем объеме капли 0,07 мл это соответствует примерно 140 л/га. Учитывая необходимость внесения, например, 150 л/га рабочего раствора против фузариоза колоса, дроны могут обеспечить такое покрытие за несколько проходов. В рисоводстве же, благодаря особенностям культуры и применению более эффективных технологий распыления, требуемая норма расхода значительно ниже.

Это создаёт существенный барьер для применения дронов в защите посевов, особенно учитывая критически низкие нормы опрыскивания на гектар, которые ограничивают тип обработок.

Фунгицидные обработки демонстрируют высокую эффективность при норме опрыскивания от 200 до 300 л/га, в то время как борьба с вредителями с помощью дронов показывает положительные результаты. Применение агродронов носит скорее ситуативный характер, когда в хозяйстве отсутствует высококлиренсная техника, культура переросла фазу развития для обработки или появились вредные объекты, требующие немедленной борьбы.

В специфических условиях выращивания некоторых культур, например, в рисоводстве, эффективность обработок дронами может быть выше благодаря точности внесения и близости полей к населённым пунктам, где авиаобработка не предусмотрена.

Эмпирические данные подтверждают, что применение БПЛА для мониторинга агротехнических операций увеличивает урожайность на 15–20% за счет оптимизации сроков уборки и снижения потерь при вегетации. Согласно исследованию, проведенному на полях пшеницы и кукурузы в различных климатических зонах, своевременное выявление зон созревания с помощью дронов позволило оптимизировать сроки уборки и снизить потери

на 12-18%, а общий прирост урожайности составил в среднем 16,4% по сравнению с традиционными методами определения сроков уборки.

Широкая доступность и относительно низкая стоимость китайских дронов DJI и XAG делают их популярным выбором для сельскохозяйственных предприятий во всем мире, что создает конкурентное давление на российских разработчиков. Попытки импортозамещения ограничиваются недостатком инвестиций в изучение и развитие новых идей, технологий и слабой интеграцией с цепочками добавленной стоимости.

Для успешного развития технологии внесения средств защиты растений (СЗР) и удобрений с помощью дронов необходимы специальные полигоны для проведения опытов на полях. Внесение СЗР и удобрений с помощью дронов всё ещё вызывает множество вопросов, и для их решения требуется проведение исследований на различных культурах и с разными дозировками.

Каждая компания вынуждена самостоятельно искать места для проведения испытаний, сотрудничая с научными учреждениями или сельхозпредприятиями, либо используя собственные опытные площадки. Это приводит к тому, что каждая компания «варится в своём соку», что затрудняет обмен опытом и знаниями между участниками рынка.

В России наблюдается нехватка знаний в области применения дронов в сельском хозяйстве как среди заказчиков подобных услуг, так и среди агрономических служб на местах. Государственные программы развития беспилотной авиации играют критическую роль в формировании технологического суверенитета и создании инновационной экосистемы для гражданских беспилотных летательных аппаратов. Политика стимулирования спроса на локальные технологии через регуляторные и финансовые механизмы является ключевым драйвером для преодоления пат-зависимости рынка. В России данная стратегия реализуется через «Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года», которая фокусируется на пяти направлениях:

1. Стимулирование внутреннего спроса на отечественные беспилотные авиационные системы;
2. Разработка и серийное производство конкурентоспособных платформ;
3. Развитие инфраструктуры (включая телекоммуникационные сети и систему управления воздушным движением);
4. Подготовка кадров;
5. Фундаментальные исследования в области искусственного интеллекта и автономных систем.

Ключевым вызовом остается преодоление дисбаланса между регуляторными требованиями и темпами технологического развития. Страны с прогрессивными стандартами сертификации (например, ЕС) достигают 18% годового роста рынка БПЛА, тогда как жесткие

регуляторные барьеры замедляют внедрение инноваций.

Важным аспектом является формирование кадрового резерва специалистов по беспилотной авиации. В 2025 году планируется начать разработку учебных модулей и основных курсов обучения по БАС и внедрение этих компонентов в образовательные программы. Также предполагается создание цифрового реестра кадров БАС, связывающего данные о вакансиях и кадровом потенциале специалистов в этой области.

Эти меры направлены на подготовку квалифицированных специалистов, способных работать с современными технологиями беспилотной авиации, что в свою очередь будет способствовать развитию отрасли и внедрению инноваций в сельское хозяйство, строительный надзор, экологический контроль и другие сферы деятельности.

Несмотря на общее снижение химической нагрузки при точечном внесении пестицидов с помощью БПЛА, существуют экологические риски, требующие дополнительного изучения. При ультрамалообъемном опрыскивании с БПЛА увеличивается риск сноса мелкодисперсных капель пестицидов за пределы целевой зоны обработки, особенно при скорости ветра более 4 м/с.

Также существенным ограничением широкого применения БПЛА в сельском хозяйстве является зависимость от погодных условий. Согласно техническим спецификациям современных сельскохозяйственных дронов (XAG P100, DJI Agras T40), их эксплуатация возможна при скорости ветра до 5-8 м/с и отсутствии осадков, что может сокращать эффективное время использования на 30-40% в течение сезона.

Другим ограничением является недостаточная емкость аккумуляторов. Средняя продолжительность полета БПЛА сельскохозяйственного назначения составляет 15-25 минут, что при норме внесения 10-15 л/га позволяет обработать 2-5 га за один полет. Для обеспечения непрерывной работы требуется либо несколько комплектов аккумуляторов с системой быстрой замены, либо зарядные станции в полевых условиях, что повышает капитальные затраты.

Выводы. Проведенное исследование подтверждает значительные перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве при существующих технологических и регуляторных ограничениях. Рынок сельскохозяйственных БПЛА демонстрирует стабильно высокие темпы роста (23,4- 25,1% ежегодно), что обусловлено растущей потребностью в прецизионном земледелии и оптимизации использования ресурсов.

Анализ показал, что внедрение БПЛА в агропромышленный комплекс России может обеспечить ежегодную экономию до 300 млрд рублей благодаря снижению потерь урожая (до 15%), оптимизации использования агрохимикатов (до 25%) и сокращению расходов

на ГСМ и трудовые ресурсы. Эмпирические данные подтверждают, что применение БПЛА для мониторинга агротехнических операций увеличивает урожайность на 15-20%.

Основными барьерами для массового внедрения БПЛА являются: ограниченная грузоподъемность, неэффективность при внесении больших объемов рабочих растворов, отсутствие специализированных препаратов для ультрамалообъемного опрыскивания, зависимость от погодных условий и недостаточная емкость аккумуляторов. Технология также демонстрирует различную эффективность в зависимости от типа культур и характера обработки.

Преодоление регуляторных барьеров, включая разработку специализированной классификации БПЛА по назначению,

а не только по массе, является ключевым фактором развития отрасли. Государственная поддержка через «Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года» и подготовка квалифицированных кадров играют критическую роль в формировании экосистемы беспилотных технологий.

Для дальнейшего развития применения БПЛА в сельском хозяйстве необходимо создание специализированных полигонов для испытаний, разработка препаратов для ультрамалообъемного опрыскивания и внедрение системы подготовки кадров. Перспективными направлениями исследований являются оценка экологических последствий применения БПЛА, совершенствование технологий распыления и развитие роевых систем для повышения эффективности обработки.

Литература

1. Евтодьева М. Г. Целицкий С.В. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства // Пути к миру и безопасности. 2019. № 2(57). С. 104-111. doi: 10.20542/2307-1494-2019-2-104-111.
2. Реализация возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в горном деле / И. А. Гришин, А. Е. Козлова, Н. В. Дерина [и др.] // Уголь. 2022. № 5(1154). С. 36-41. doi: 10.18796/0041-5790-2022-5-36-41.
3. Параметры применения беспилотных летательных аппаратов при обработке средствами защиты растений сельскохозяйственных культур / Н. Ю. Курченко, Ю. В. Даус, Е. В. Труфляк, Я. А. Ильченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1(69). С. 527-536. doi:10.32786/2071-9485-2023-01-58.
4. Савельева М. И., Захаров А. Н. Трансформация агропромышленного комплекса неизбежна // Все о мясе. 2022. № 6. С. 71-72. doi:10.21323/2071-2499-2022-6-71-72.
5. Цветков В. Я., Ознамец В.В. Мониторинг транспортной инфраструктуры с использованием интеллектуальных БПЛА // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 8. С. 18-21. doi 10.34649/AT.2020.8.8.001.
6. Швецов А. В., Швецов А. В. Обеспечение безопасности при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. 2020. Т. 18, № 3(88). С. 174-188. doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-174-188.
7. Плутников Г. А. Развитие метода оценки качества управления беспилотными средствами // Стандарты и качество. 2023. № 11. С. 78-79.
8. Фраленко В. П. Повышение качества видеопотока от системы технического зрения беспилотного летательного аппарата // Программные системы: теория и приложения. 2023. Т. 14, № 2(57). С. 3-26. doi: 10.25209/2079-3316-2023-14-2-3-26.
9. Терян Д. С. Современные подходы построения программных платформ и решений // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 6. С. 25-27. doi: 10.34649/AT.2020.6.6.004.
10. Аникаева А. Д. Мартюшев Д. А. Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли Недропользование. 2020. Т. 20, № 4. С. 344-355. doi: 10.15593/2712-8008/2020.4.4.
11. Федоренко В. Ф. О технической модернизации сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2021. № 5(287). С. 2-6. doi: 10.33267/2072-9642-2021-5-2-6.
12. Трофимов Н. В, Сочнева С.В., Яхин И.Ф. Роль землеустройства в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK - 2023 : Сборник материалов, Казань, 20-22 сентября 2023 года. Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2023. С. 1268-1272.
13. Influence of irrigation and fertilisation on yield and quality of green mass of maize in soil-climatic conditions of the Republic of Tatarstan / F. N. Safiollin, A. A. Lukmanov, M. M. Khismatullin [et al.] // BIO Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2024), Kazan, 28-29 ноября 2024 года. Kazan: EDP Sciences, 2025. P. 00032. doi: 10.1051/bioconf/202516100032.
14. Яхин И. Ф. Особенности систем координат, применяемых в спутниковой геодезии // Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования : Сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ Шакирова Азата Шаеховича, Казань, 28 марта 2024 года. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. С. 115-120.
15. Ибрагимова К. Э., Трофимов Н.В. Эффективность использования методов дистанционного зондирования для выявления нецелевого использования земель // Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования : Сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ Шакирова Азата Шаеховича, Казань, 29 марта 2023 года. Казань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Казанский государственный аграрный университет, 2024. С. 21-26.
16. Остаев Г. Я., Клычова Г.С., Некрасова Е.В. Принятие управленческих решений: механизмы и финансовые // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13, № 4(51). С. 146-152.

doi 10.12737/article_5c3de3a12b1d34.22685031.

17. Чельшева Д. Н. Беспилотные летательные аппараты как один из основных инструментов цифровой трансформации АПК // АПК: экономика, управление. 2024. № 2. С. 96-101. doi: 10.33305/242-96.

18. Катаев М. Ю. анализ практических возможностей применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / М. Ю. Катаев, О. А. Пасько, Е. Ю. Карташов // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1(190). С. 54-62. doi: 10.36718/1819-4036-2023-1-54-62.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Трофимов Николай Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: nik.trofimow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1672-8007>

Яхин Ильдар Фаритович - аспирант, старший преподаватель кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: ildasuper97@bk.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN AGRICULTURE

N.V. Trofimov, I.F. Yakhin

Abstract. Growing global demand for food and increasing world population stimulate the development of agricultural unmanned aerial vehicles (UAV) market. The average annual growth rate of this market is 23-25%. UAVs increase the efficiency of agricultural sector by automating the monitoring processes of crops condition, yield forecasting, differentiated application of agrochemicals and biological plant protection products. The implementation of unmanned technologies in the Russian agro-industrial complex provides the potential for annual savings of up to 300 billion rubles due to reduced crop losses, optimized use of agrochemicals, and reduced costs for fuel and labor. Market structure analysis shows the dominance of the hardware segment (67.3%), with the highest revenue generated by sales of drones for spraying agrochemicals (40.1%). The experience of XAG company (China) confirms the effectiveness of sprayer drones, recording a 30% reduction in pesticide consumption. However, there are several problems limiting the widespread use of agricultural drones: limited payload capacity, uneven coverage during ultra-low-volume spraying of sensitive crops, dependence on crop types and weather conditions, insufficient battery capacity, and the lack of a clear classification and regulation system. In Russian Federation, drones are classified according to Federal Law No. 60 "Air code of the Russian Federation", mainly by weight (up to 0.25 kg, 0.25-30 kg, more than 30 kg), while in the EU, according to Regulation (EU) 2019/947, there is a comprehensive classification system by risk categories ("open", "special", "certified") with additional subcategories that take into account not only weight, but also technical characteristics, type of flights and capabilities. In Russia, additional barriers are the lack of specialized products for ultra-low-volume spraying, lack of specialized testing grounds and shortage of qualified personnel. To solve these problems, it is necessary to develop a new classification of drones, create specialized products and develop infrastructure for testing and training specialists. Government support and regulation, including the "Strategy for the development of unmanned aviation until 2030", play a key role in stimulating the introduction of drones in agriculture and the formation of Russia's technological sovereignty.

Key words: agricultural drones, spraying, agriculture, personnel, state support.

For citation: Trofimov N.V., Yakhin I.F. Problems and prospects of using unmanned aerial vehicles in agriculture. Agrobiotechnology and digital farming. 2025; 2(14). 69-76 p.

References

1. Evtodeva MG, Tselitskiy SV. [Unmanned aerial vehicles for military purposes: trends in development and production]. Puti k miru i bezopasnosti. 2019; 2(57). 104-111 p. doi: 10.20542/2307-1494-2019-2-104-111.
2. Grishin IA, Kozlova AE, Derina NV. [Implementation of the possibilities of using unmanned aerial vehicles in mining]. Ugol. 2022; 5(1154). 36-41 p. doi: 10.18796/0041-5790-2022-5-36-41.
3. Kurchenko NYu, Daus YuV, Truflyak EV, Ilchenko YaA. [Parameters of unmanned aerial vehicles application in the treatment of agricultural crops with plant protection products]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2023; 1(69). 527-536 p. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-58.
4. Saveleva MI, Zakharov AN. [Transformation of agro-industrial complex is inevitable]. Vse o myase. 2022; 6. 71-72 p. doi: 10.21323/2071-2499-2022-6-71-72.
5. Tsvetkov VYa, Oznamets VV. [Monitoring of transport infrastructure using intelligent unmanned aerial vehicles]. Avtomatika, svyaz, informatika. 2020; 8. 18-21 p. doi: 10.34649/AT.2020.8.8.001.
6. Shvetsova SV, Shvetsov AV. [Ensuring safety during the operation of unmanned aerial vehicles at transport infrastructure facilities]. Mir transporta. 2020; Vol.18. 3(88). 174-188 p. doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-174-188.
7. Plotnikov GA. [Development of a method for assessing the quality of unmanned vehicle control]. Standarty i kachestvo. 2023; 11. 78-79 p.
8. Fralenko V. P. [Improving the quality of video stream from the technical vision system of an unmanned aerial vehicle]. Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya. 2023; Vol.14. 2(57). 3-26 p. doi: 10.25209/2079-3316-2023-14-2-3-26.
9. Teryan DS. [Modern approaches to building software platforms and solutions]. Avtomatika, svyaz, informatika. 2020; 6. 25-27 p. doi: 10.34649/AT.2020.6.6.004.
10. Anikaeva AD, Martyushev DA. [Assessment the potential for using unmanned aerial vehicles in the oil and gas industry]. Nedropolzovanie. 2020; Vol.20. 4. 344-355 p. doi: 10.15593/2712-8008/2020.4.4.
11. Fedorenko VF. [On the technical modernization of agriculture]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021; 5 (287). 2-6 p. doi: 10.33267/2072-9642-2021-5-2-6.
12. Trofimov NV, Sochneva SV, Yakhin IF. [The role of land management in the context of digital transformation of agriculture]. Mezhdunarodnyy forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2023: Sbornik materialov, Kazan,

20-22 sentyabrya 2023 goda. Kazan: GBU "NTsBZhD". 2023; 1268-1272 p.

13. Safiollin FN, Lukmanov AA, Khismatullin MM. Influence of irrigation and fertilisation on yield and quality of green mass of maize in soil-climatic conditions of the Republic of Tatarstan. BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2024), Kazan, 28-29 noyabrya 2024 goda. Kazan: EDP Sciences. 2025; 00032 p. doi: 10.1051/bioconf/202516100032.

14. Yakhin IF. [Features of coordinate systems used in satellite geodesy. Actual issues of rational use of land resources, geodesy and nature management]. Sbornik trudov vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora kafedry zemleustroystva i kadastr Kazanskogo GAU Shakirova Azata Shaekhovicha, Kazan, 28 marta 2024 goda. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 115-120 p.

15. Ibragimova KE, Trofimov NV. [Efficiency of using remote sensing methods to identify improper use of land. Current issues of rational use of land resources, geodesy and nature management]. Sbornik trudov vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora kafedry zemleustroystva i kadastr Kazanskogo GAU Shakirova Azata Shaekhovicha, Kazan, 29 marta 2023 goda. Kazan: Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 21-26 p.

16. Ostaev GYa, Klychova GS, Nekrasova EV. [Making management decisions: mechanisms and financial]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 4(51). 146-152 p. doi: 10.12737/article_5c3de3a12b1d34.22685031.

17. Chelysheva DN. [Unmanned aerial vehicles as one of the main tools for digital transformation of the agro-industrial complex]. APK: ekonomika, upravlenie. 2024; 2. 96-101 p. doi: 10.33305/242-96.

18. Kataev MYu, Pasko OA, Kartashov EYu. [Analysis of practical possibilities of using unmanned aerial vehicles in agriculture]. Vestnik KrasGAU. 2023; 1(190). 54-62 p. doi: 10.36718/1819-4036-2023-1-54-62.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Trofimov Nikolay Valerevich – Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor of Land Management and Cadastre Department, e-mail: nik.trofimow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1672-8007>

Yakhin Ildar Faritovich – post-graduate student, senior lecturer of Land Management and Cadastre Department, e-mail: ildasuper97@bk.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.