

Дата поступления рукописи в редакцию: 20.05.2026 г.

DOI: 10.24412/2076-1503-2026-6-503-508

Дата принятия рукописи в печать: 29.06.2026 г.

ГОРБУНОВА Олеся Сергеевна,

кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики,
бухгалтерского учета и финансового контроля,
Уральский государственный аграрный университет,
e-mail: os-bakunova@mail.ru

КОТ Екатерина Михайловна,

доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики,
бухгалтерского учета и финансового контроля,
Уральский государственный аграрный университет,
e-mail: katekaterina@rambler.ru

МАЛЬКОВА Юлия Вадимовна,

кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики,
бухгалтерского учета и финансового контроля,
Уральский государственный аграрный университет,
e-mail: malkova0404@mail.ru

ПИЛЬНИКОВА Ирина Федоровна,

старший преподаватель кафедры экономики,
бухгалтерского учета и финансового контроля,
Уральский государственный аграрный университет,
e-mail: pilnikovai@mail.ru

САБУРОВА Лада Викторовна,

преподаватель кафедры экономики,
бухгалтерского учета и финансового контроля,
Уральский государственный аграрный университет,
e-mail: lizi222@yandex.ru

КРОХАЛЕВ Александр Анатольевич,

преподаватель кафедры экономики,
бухгалтерского учета и финансового контроля,
Уральский государственный аграрный университет,
e-mail: krohalev_aleksandr1989@inbox.ru

СТРАТЕГИИ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АГРОНОМИИ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ И ПРАКТИЧЕСКИЙ КЕЙС ХОЗЯЙСТВ УРАЛА

Аннотация. Статья посвящена комплексной оценке эффективности интеграции беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в технологические циклы уральского растениеводства. Методологическую основу проведенного исследования составили как критический анализ передовых мировых практик, так и релевантные эмпирические данные, собранные автором лично в ходе производственного мониторинга угодий на базе передовых сельхозпредприятий Свердловской области. В рамках экспериментального весенне-летнего периода осуществлялась непрерывная мультиспектральная съемка вегетирующих посевных площадей.

В работе детально обоснована экономическая и агрономическая целесообразность применения беспилотных платформ для оперативного вегетационного контроля и поэтапной реализации систем дифференцированного распределения жидких и твердых агрохимикатов. Практический расчет и интерпретация индексов NDVI и GNDVI позволили автору выявить скрытые локальные очаги фитопатологий и зоны экспансии сорной расти-

тельности. Это доказывает возможность перехода к прецизионному (точечному) применению пестицидов, что существенно снижает пестицидную нагрузку на почвенный покров.

Особое место в исследовании занимает научно-практический вопрос адаптации цифровых инструментов к нестабильным климатическим условиям и выраженной пространственной гетерогенности рельефа Уральского региона. Авторами были математически оптимизированы параметры полетных заданий с непосредственным учетом локального ветрового режима и дефицита эффективных температур. В заключительной части работы систематизированы ключевые деструктивные факторы, тормозящие цифровизацию отрасли, — от высокой капиталоемкости импортного оборудования и острого дефицита квалифицированных операторов до регуляторных барьеров использования воздушного пространства. В качестве решения предложены прикладные механизмы их преодоления через формирование сети региональных сервисно-технологических хабов и разработку унифицированных технологических карт.

Ключевые слова: агродроны, БПЛА, интеллектуальное земледелие, индекс NDVI, агромониторинг, Уральский регион, прецизионное опрыскивание.

GORBUNOVA Olesya Sergeevna,

*Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Economics,
Accounting and Financial Control
Ural State Agrarian University*

KOT Ekaterina Mikhailovna,

*Doctor of Economic Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Economics,
Accounting and Financial Control
Ural State Agrarian University*

MALKOVA Yulia Vadimovna,

*Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of Economics,
Accounting and Financial Control
Ural State Agrarian University*

PILNIKOVA Irina Fedorovna,

*Senior Lecturer of the Department of Economics,
Accounting and Financial Control
Ural State Agrarian University*

SABUROVA Lada Viktorovna,

*Lecturer, Department of Economics,
Accounting, and Financial
Control, Ural State Agrarian University*

KROKHALEV Aleksandr Anatolyevich,

*Lecturer, Department of Economics,
Accounting, and Financial
Control, Ural State Agrarian University*

STRATEGIES FOR IMPLEMENTING UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN AGRONOMY: REGIONAL ASPECT AND PRACTICAL CASE OF URAL FARMS

Annotation. *This paper provides a comprehensive evaluation of integrating unmanned aerial vehicles (UAVs) into the technological cycles of crop production in the Urals. The methodological framework relies on a critical analysis of leading global practices combined with relevant empirical*

data collected by the author during operational field monitoring at advanced agricultural enterprises in the Sverdlovsk region. Continuous multispectral imaging of vegetating crop areas was carried out throughout the experimental spring-summer period.

The study substantiates the economic and agronomic viability of utilizing drone platforms for real-time vegetation monitoring and the phased implementation of variable rate application (VRA) systems for liquid and solid agrochemicals. Practical calculation and interpretation of NDVI and GNDVI vegetative indices enabled the detection of latent localized phytopathology outbreaks and zones of weed expansion. This confirms the feasibility of shifting toward precision (spot) pesticide application, which significantly mitigates the chemical load on the soil cover.

Emphasis is placed on the scientific and practical challenge of adapting digital tools to the volatile climate and pronounced spatial heterogeneity of the Ural region's terrain. The author mathematically optimized flight mission parameters, directly accounting for local wind patterns and growing degree-day deficiencies. Finally, the paper systematizes the key disruptive factors impeding sectoral digitalization—ranging from the high capital intensity of imported equipment and acute shortages of qualified operators to regulatory barriers in airspace utilization. To address these challenges, actionable mitigation mechanisms are proposed, including the establishment of regional service-technological hubs and the development of unified technological roadmaps.

Key words: *agrodrones, UAV, smart farming, NDVI index, agromonitoring, Ural region, precision spraying.*

Введение

Цифровизация сельского хозяйства — это совокупность инновационных методов, включающих в себя использование цифровых инструментов и данных для улучшения эффективности, устойчивости и управления процессами в сельскохозяйственном секторе. Она объединяет в себе различные технологии, включая: умные датчики; интернет-ресурсы (IoT); искусственный интеллект (ИИ); аналитику данных; автоматизацию и роботизацию; геоинформационные системы (ГИС) и другие. [4]

Если в южных регионах России использование дронов уже стало нормой, то в условиях Среднего и Южного Урала масштабирование технологии сталкивается с дефицитом систематизированных данных и региональных методик. Специфика уральского земледелия — рискованный характер производства, короткий вегетационный период и сложный микрорельеф — требует адаптации существующих полетных алгоритмов под местные агроклиматические параметры [1]. Одним из ключевых инструментов такой адаптации является дистанционное зондирование земли и оперативный расчет вегетационных индексов, в частности NDVI, для ранней диагностики состояния посевов.

Важным аспектом внедрения беспилотных авиационных систем (БАС) в регионе является и изменение нормативно-правовой базы [2]. Так, в апреле 2026 года были зафиксированы существенные упрощения в правилах эксплуатации агродронов для защиты растений, что значительно снизило административные барьеры для хозяйств Свердловской области. Данное исследование призвано частично восполнить пробел в

региональных методиках, опираясь на эмпирические данные, полученные автором в ходе производственной практики.

Цель исследования: Инвентаризация теоретических знаний и верификация практического опыта эксплуатации БПЛА в диверсифицированных хозяйствах Урала для определения векторов их дальнейшего развития.

При анализе современного рынка высокотехнологичных решений для сельского хозяйства, то БПЛА на данный момент считаются очень востребованными. Их можно разделить на три основные группы (рисунок 1).

Если говорить о современных методах наблюдения информации, то базовым инструментом мониторинга выступает индекс **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**. Растительный покров эффективно поглощает электромагнитное излучение в видимом спектре для обеспечения процессов фотосинтеза. Когда покров «здоров» и в нем много хлорофилла, растение поглощает видимый свет (чтобы рос лист) и, наоборот, как зеркало, отражает от себя невидимые инфракрасные лучи (чтобы не перегреться).

Если же растение болеет, засыхает или его ест вредитель, хлорофилл разрушается. Такая «батарея» начинает работать плохо: она хуже впитывает свет и перестает отражать инфракрасное излучение [7].

NIR — Ближайший ИК спектр. Это то, что растение отражает. Чем выше этот показатель, тем гуще и здоровее зелень.

RED — Красный свет. Это то, что растение поглощает. Здоровый лист почти полностью его, так сказать, ест, поэтому в формуле

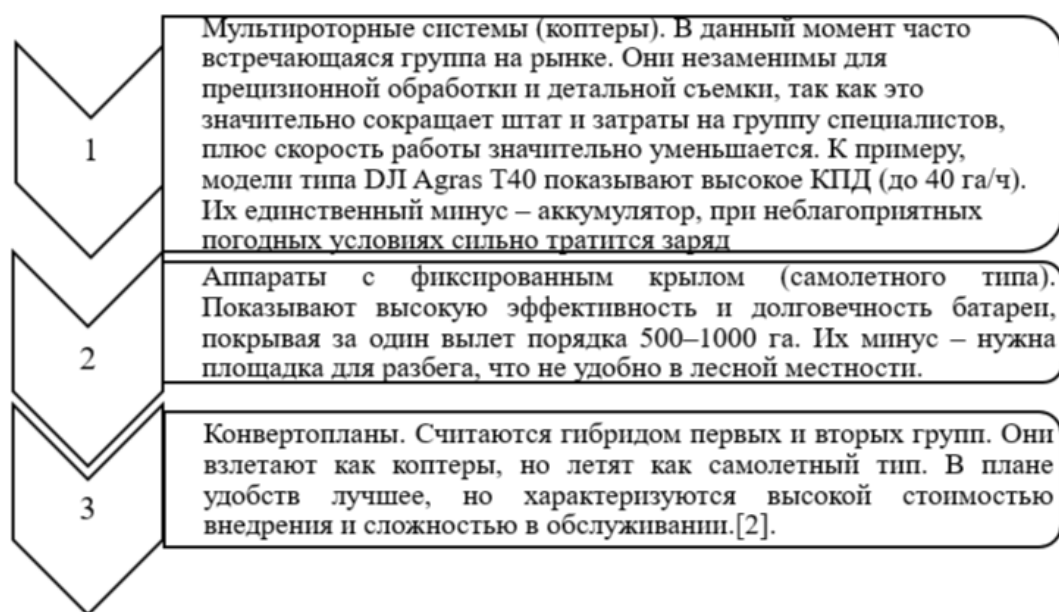


Рисунок 1. Виды беспилотных летательных аппаратов

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Человеческий фактор часто подводит. Поле может казаться зеленым, но дрон через NDVI увидит проблему на неделю раньше человека. Это позволяет сразу отправить технику в конкретную проблемную зону, чтобы внести удобрения или инсектициды там, где индекс начал падать [2].

Если говорить про защиту растений, то использование дронов-опрыскивателей закрывает множество проблем, которые могут возникнуть при использовании обычной наземной техники. Технология УМО (ультрамалообъемного опрыскивания) позволяет дробить капли до очень мелкого состояния, поэтому они ложатся на лист плотным слоем, а воды при этом тратится в разы меньше.

Использование беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве становится все более распространенным. С их помощью обрабатывают поля, вносят удобрения и средства защиты растений, контролируют состояние посевов. Теперь применять агродроны для обработки полей станет еще проще, поскольку снижены санитарные ограничения в этой области. [4].

Но один нюанс — это погода. Мелкие капли очень чувствительны к ветру. Если дует сильнее 4 м/с, препарат начинает сносить, поэтому без своей метеостанции на краю поля работать рискованно — нужно постоянно мониторить условия в реальном времени.

Во время работы на полях Свердловской области удалось собрать конкретные данные,

которые подтверждают, что дроны — это не просто дорогое капиталовложение, а действительно практическое решение для будущего повышения КПД при наименьших затратах [3].

- **Опыт №1 (Зерновой клин):** На ячмене отслеживали появление мучнистой росы. Раньше, пока агроном заметит проблему и пока доставят технику на поле, проходило около недели (7 дней). С дроном этот разрыв сократился всего до 48 часов. Появилась возможность быстрее увидеть заболевание и тут же обработать поле, сохранив потенциал урожая, который обычно теряется из-за длительности решения проблемы.
- **Опыт №2 (Картофелеводство):** В области много полей с кривыми границами и сложным рельефом, так как в первую очередь она находится в гористой местности. Обычный прицепной опрыскиватель там часто не попадает или вообще не может нормально зайти на углы и общую периферию. Дрон-опрыскиватель в этом плане отработал гораздо чище — фунгициды легли ровно по всей площади, даже на самых неудобных участках.

В таблице 1 приведено сравнение использования в сельском хозяйстве БПЛА и традиционной техники.

Таблица 1. Сравнительная характеристика использования БПЛА и традиционной техники при опрыскивании сельскохозяйственных культур

Критерий сравнения	Беспилотник-опрыскиватель (напр. DJI Agras T40)	Традиционный прицепной или самоходный опрыскиватель
Производительность	Высокая, до 40 га/ч (в зависимости от режима и настроек).	Зависит от ширины штанги, но ограничена скоростью движения по полю и необходимостью частых дозаправок водой.
Расход рабочей жидкости	УМО (ультрамалообъемное): минимизация расхода воды за счет мелкого дробления капель.	Высокий: традиционно требуется 200–400 л/га для обеспечения качества покрытия.
Механическое повреждение посевов	Отсутствует. Полет над культурой позволяет сохранить урожай.	Неизбежно: тяжелая техника оставляет технологическую колею и вытаптывает растения.
Работа в сложных условиях	Свободная. Способен работать на переувлажненной почве после ливней или весной.	Ограничена: техника малопроходима на сырой земле или наносит вред структуре почвы.
Обработка сложных участков	Идеальная: эффективно обрабатывает углы, периферию и поля со сложным рельефом («кривые» границы).	Затруднительная: громоздкая техника часто не может качественно зайти в углы и на края полей со сложной геометрией.
Безопасность оператора	Высокая: процесс автоматизирован, исключен прямой контакт с химикатами.	Риск вдыхания паров ядохимикатов механизатором в процессе внесения.
Влияние погоды	Высокая чувствительность к ветру (свыше 4 м/с — риск сноса препарата).	Меньшая чувствительность за счет более крупных капель и близости штанг к земле.
Оперативность (время реакции)	48 часов: от обнаружения болезни до начала обработки.	Около 7 дней: время тратится на подготовку техники и ожидание подходящего состояния почвы.

При всех выявленных положительных сторонах использования агродронов, существуют значительные проблемы:

- 1. Кадровый голод:** острая нехватка штатных пилотов, очень мало людей в сельской местности, как понимающих в такой технике, так и в агрономии.
- 2. Батареи:** при температуре +8 °С ресурс аккумуляторов снижается на 20%, что требует увеличения их количества, что в итоге тоже даёт затраты.
- 3. Сложный климат.** Лето на Урале очень короткое — всего около 110 дней, при этом ветер часто и резко меняет направление и силу. Из-за этого «лётное окно» сильно сужается. В той же Свердловской области реально работать удаётся лишь в 60 % летних дней. В таких условиях хозяйства вынуждены действовать максимально быстро и использовать каждый подходящий момент.
- 4. Законодательное регулирование:** Хотя правила в последнее время и стали помягче,

работы с документами всё равно хватает. Дроны тяжелее 250 г нужно регистрировать, а полеты рядом с деревьями или закрытыми зонами — долго согласовывать. Для обычного хозяйства это лишняя проблема, поэтому часто проще нанять готовый агросервис, где все эти вопросы уже решены. [2]

Экономическая эффективность БАС в условиях Уральского региона определяется не только прямой экономией ресурсов, но и снижением рисков потери урожая. При стоимости технологического комплекса в диапазоне от 0,6 до 2,5 млн руб. окупаемость инвестиций достигается за счет прецизионного мониторинга и минимизации потерь биомассы. [5; 6]

В ходе исследования нами был проведен расчет эффективности оперативного реагирования на угрозы. Так, своевременная локализация очага септориоза на площади 30 га позволяет сохранить продукции на сумму свыше 200 тыс. руб. в ценах 2026 года. Таким образом, дрон трансформируется из дорогостоящего гаджета в

инструмент «страхования» урожая, позволяя агроному принимать решения на основе верифицированных данных, а не календарных графиков.

Для различных форм хозяйствования в Свердловской области выявлены две основные стратегии внедрения:

1. Собственный парк БАС: целесообразен для крупных агрохолдингов с площадью пашни более 5000 га, где загрузка аппаратов в сезон превышает 80%.
2. Аутсорсинг (агросервис): для малых и средних крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ) наиболее эффективной признана модель привлечения внешних операторов. Это нивелирует затраты на содержание штата пилотов и техническое обслуживание парка БПЛА в межсезонье.

Заключение

Беспилотная авиация в современном сельском хозяйстве перестала быть технологической экзотикой, превратившись в высокоэффективный прикладной инструмент агронома. Проведенное исследование подтверждает, что для специфических условий Уральского региона БАС являются прежде всего средством оперативного реагирования в условиях жестких климатических рамок и рискованного земледелия.

Несмотря на существующие климатические, юридические и кадровые барьеры, переход к системному использованию беспилотных решений является безальтернативным путем повышения конкурентоспособности регионального АПК. Интеграция БПЛА в технологические циклы позволяет не только оптимизировать производственные затраты, но и обеспечить экологическую безопасность за счет снижения пестицидной нагрузки на почвенный покров [1]. Дальнейшее развитие технологии видится в автоматизации аналитических процессов с применением нейросетей и расширении образовательных программ на базе аграрного университета для подготовки специалистов нового профиля.

Список литературы:

- [1] Батыршина Э. Р. Экономическая и энергетическая оценка звена севооборота «покровная культура - многолетние травы» / Э. Р. Батыршина, М. Ю. Карпухин, О. С. Горбунова, Л. М. Стахеева // Образование и право. – 2025. – № 12. – С. 268-272.
- [2] Горбунова О. С. Беспилотные летательные аппараты - цифровое решение для аграрного сектора экономики / О. С. Горбунова, Д. Х. Бухарова, В. М. Шарапова // Экономика и предпринимательство. – 2023. – № 10(159). – С. 1106-1110.

[3] Зайцева Е. С. Перспективы применения цифровых технологий в аграрной отрасли / Е. С. Зайцева, К. С. Данилов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства : Материалы международной научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 20–21 марта 2025 года. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2025. – С. 55-58.

[4] Цифровые технологии в сельском хозяйстве // АгроАналитика. URL: <https://smartagro.ru/tsifrovizatsiya-selskogo-khozyaystva> (дата обращения: 17.04.2026).

[5] Роспотребнадзор упростил правила обработки полей // ЦПР Профи. URL: <https://profi-cpr.ru/news/novosti-v-sfere-bpla/rospotrebнадзор-uprosstil-pravila-obrabotki-polej.html> (дата обращения: 04.05.2026).

[6] Промышленные квадрокоптеры (Enterprise) // Skymec. URL: <https://skymec.ru/product/enterprise-drones/> (дата обращения: 17.05.2026).

[7] DJI Agras T40 // Agronix. URL: <https://agronix.ua/en/dji-t40/> (дата обращения: 17.05.2026).

References:

[1] Batyrshina E. R. Economic and energy assessment of the crop rotation link “cover crop - perennial grasses” / E. R. Batyrshina, M. Yu. Karpushin, O. S. Gorbunova, L. M. Stakheeva // Education and Law. - 2025. - No. 12. - Pp. 268-272.

[2] Gorbunova O. S. Unmanned aerial vehicles - a digital solution for the agricultural sector of the economy / O. S. Gorbunova, D. Kh. Bukharova, V. M. Sharapova // Economy and Entrepreneurship. - 2023. - No. 10 (159). - Pp. 1106-1110.

[3] Zaitseva E. S. Prospects for the Application of Digital Technologies in the Agricultural Sector / E. S. Zaitseva, K. S. Danilov // Current Issues in Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Yoshkar-Ola, March 20–21, 2025. – Yoshkar-Ola: Mari State University, 2025. – Pp. 55–58.

[4] Digital Technologies in Agriculture // AgroAnalytics. URL: <https://smartagro.ru/tsifrovizatsiya-selskogo-khozyaystva> (accessed: April 17, 2026).

[5] Rospotrebnadzor Simplified the Rules for Field Processing // CPR Profi. URL: <https://profi-cpr.ru/news/novosti-v-sfere-bpla/rospotrebнадзор-uprosstil-pravila-obrabotki-polej.html> (accessed: 04.05.2026).

[6] Industrial quadcopters (Enterprise) // Skymec. URL: <https://skymec.ru/product/enterprise-drones/> (accessed: 17.05.2026).

[7] DJI Agras T40 // Agronix. URL: <https://agronix.ua/en/dji-t40/> (accessed: 17.05.2026).