

АГРОДРОНЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ

Подрябинкин З.Д., Джалилова Н.Р.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье оценивается экономическая оправданность использования беспилотных летательных аппаратов для минимизации контакта человека с пестицидами, ядохимикатами в сельском хозяйстве. Проводится сравнение эффективности и рисков применения беспилотных летательных аппаратов для проведения обработки посевов растительных культур в сравнении с другими видами техники.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; сельское хозяйство; пестициды.

Введение. Применение дронов в сельском хозяйстве осуществляется по двум основным направлениям: мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур и проведение обработки (опрыскивание) посевов растительных культур против вредителей, болезней [1]. Использование агродронов для аэрофотосъёмки позволяет получать данные о состоянии посевов, что является основой концепции ведения грамотных агротехнических мероприятий [2]. БЛА способны дифференцированно вносить требуемые дозы пестицидов, гербицидов и других химических веществ на труднодоступные участки полей, уменьшая финансовые затраты на проведение таких мероприятий. Механик – оператор при опрыскивании находится вне зоны полевых работ, избегая возможного контакта с химическими активными веществами.

Однако внедрение БЛА в сельском хозяйстве сопряжено с экономическими рисками и консервативностью отрасли. На данный момент в России только формируется практика внедрения БЛА в экономику посредством экспериментальных правовых режимов [3]. Общий эксперимент по внедрению БЛА в сельском хозяйстве завершится осенью 2026 года [4].

Основная часть. Для предотвращения случаев отравления при работе с пестицидами в Республике Беларусь действует постановление от 27.09.2017 №149 [5]. Постановление предусматривает меры по герметизации кабин техники, применение средств индивидуальной защиты и т.д. для работников сельского хозяйства. Тем не менее, во время внесения пестицидов существуют риски отказа систем или исключительных ситуаций, способных привести к контакту человека с ядовитыми химическими веществами. Данные риски можно уменьшить при применении БЛА для внесения поверхностно-активных веществ. Поскольку для внедрения новой технологии важны не только строгое соблюдение техники безопасности, но и экономическая целесообразность, далее в исследовании будет сделан сравнительный анализ применения тракторного опрыскивателя (МТЗ-82 + ОН-600-12), агродрона DJI Agras T30 и самоходного опрыскивателя БАРС ОС-2500.

Основными параметрами для сравнения являются производительность и степень обработки посевов, часовой и удельный расход топливно-энергетических ресурсов, расход рабочего химического раствора (таблица 1). Часть данных находится в открытом доступе на сайте производителей: официальные спецификации DJI Agras T30 [6], технические характеристики опрыскивателя «БАРС ОС-2500» [7]. Технические данные производительности трактора с прицепным опрыскивателем взяты из исследования, где расчёты проводились по произведенным работам – обработки рапсового поля [8].

Таблица 1 – Сравнительные эксплуатационные показатели MTZ-82 + ОН-600-12, DJI Agras T30, БАРС-2500

Параметр сравнения	Тракторный опрыскиватель (MTZ-82 + ОН-600-12)	Агродрон (DJI Agras T30 при работе с заправочным комплексом)	Самоходный опрыскиватель БАРС ОС-2500
Производительность, га/ч	9 – 14	9 – 18	35 – 40
Часовой расход топливно-энергетических ресурсов	18 л/ч дизельного топлива	1,25 л/ч дизеля (16,2 МДж/ч электроэнергии)	12 – 14 л/ч дизельного топлива
Удельный расход топлива на га	2,25 – 3 л/га	0,07 – 0,13 л/га (0,9 – 0,18 МДж/га)	до 0,35 л/га
Объём бака для рабочего раствора	600 л	30 л	2500 л
Расход рабочего раствора, л/га	42 – 354	5 – 25	42 – 354
Стоимость оборудования	106 000 BYN	60 000 BYN	Около 200 000 BYN

Основные отличия между методами опрыскивания:

1 Производительность (скорость работы): самоходный опрыскиватель БАРС ОС-2500 обладает наибольшей производительностью (35–40 га/ч), подходит для обработки больших площадей. Тракторный прицепной опрыскиватель (MTZ-82 + ОН-600-12) и агродрон DJI Agras T30 имеют сопоставимую производительность (9–14 га/ч и 9–18 га/ч соответственно), что делает их полезными для средних и малых хозяйств. Применение агродрона эффективнее при сложном рельефе и в применение химических веществ в лесных хозяйствах [9]. Также недостаток в скорости обработки может быть скомпенсирован применением нескольких БЛА одним оператором.

2 Топливная эффективность: агродрон демонстрирует наименьший расход топлива. При емкости аккумулятора 29 А/ч и 3-разовых вылетах в час [10] дизельный генератор на 8 кВт с расходом 2,5 л/ч расходует 1,25 л/ч топлива для полной зарядки дрона, что обеспечивает удельный расход 0,07–0,13 л/га. Самоходный опрыскиватель БАРС ОС-2500, по данным лизинговой компании, имеет удельный расход не более 0,35 л/га [11], а тракторный опрыскиватель потребляет 18 л/ч (2,25–3 л/га).

3 Расход рабочего раствора и логистика: тракторный и самоходный опрыскиватели, использующие форсунки типа ID-K на скорости 8 км/ч, расходуют от 42 до 354 л/га рабочего раствора. Агродрон, благодаря меньшему расходу воды, требует всего 5–25 л/га, что позволяет существенно улучшить полевую логистику.

Анализ рисков будет проведён посредством логического моделирования. Тяжесть последствий - одинакова для всех трех вариантов. Опасной ситуацией можно считать отказ техники во время работы. Для трактора MTZ-82 риск неисправности составляет 0,3% в час (1 неисправность на 300 мотор-часов). Для агродрона риск падения рядом с оператором рассчитаем по формуле 1:

$$R = \frac{R_{отк}}{60} \times t_{взл} \times n, \quad (1)$$

где $R_{отк}$ – вероятность отказа гражданского БЛА за час (0,1% [12]),

$t_{взл}$ – время взлёта БЛА (0,5 мин), n – количество вылетов в час (3 вылета).

В результате вероятность контакта с химически опасными веществами у оператора БЛА составляет 0,0025%, что в 100 раз ниже вероятности рисков контакта с ядохимикатами у водителя трактора. Таким образом, внедрение агродронов уменьшает риск контакта работников с применяемыми в сельском хозяйстве пестицидами, ядохимикатами и прочими опасными для человека химическими веществами. Также, применение агродронов снижает потери вносимых в почву минеральных веществ, тем самым уменьшая количество применяемого раствора без влияния на уровень урожайности сельскохозяйственных культур и оставаясь экономически целесообразным. Это может положительно сказаться и на эффективности и экологичность, дозированность использования пестицидов в сельском

хозяйстве Республике Беларусь в целом [13].

Заключение. В результате исследования были получены подтверждения экономической целесообразности использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве для мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур и проведение обработки посевов растительных культур против вредителей, болезней. Результатом применения агродронов могут стать снижение рисков отравления и вредного влияния на здоровье работников сельского хозяйства опасными химическими веществами, применяемыми при проведении агротехнических работ.

Список литературы

1. Цифровая трансформация сельского хозяйства на основе беспилотных летательных аппаратов / Шайтура С.В. [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 7. – С. 174–178.
2. Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges // Издательство научных журналов «MDPI» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/11/686>. Дата доступа: 18.02.2026.
3. Сводный аналитический отчет о результатах мониторинга реализации экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации беспилотных систем в Томской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/file/download/579c4addaf61ebcb608c727dc635ad0/svodniy_analiticheskiy_otchet.pdf. Дата доступа: 20.02.2026.
4. Постановление об установлении экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций и утверждении программы экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации сельскохозяйственных беспилотных авиационных систем // Официальный сайт Правительства России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/acts/files/1202309190014.pdf>. Дата доступа: 22.02.2026.
5. Санитарные нормы и правила «Требования к применению, условиям перевозки и хранения пестицидов (средств защиты растений), агрохимикатов и минеральных удобрений»: утверждены Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 27 сентября 2012 г. № 149 // Информационный портал «Pravo.by» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21226455p/>. Дата доступа: 02.03.2026.
6. Технические характеристики DJI Agras T30 // Официальный сайт DJI [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dji.com/global/t30/specs>. Дата доступа: 03.03.2026.
7. Опрыскиватель самоходный «БАРС ОС-4000М»: технические характеристики // Сайт компании «Агропромсила» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://agropromsila.by/directions/bars-os-4000m/>. Дата доступа: 03.03.2026.
8. Поляков, А. Ю. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов при выполнении сельскохозяйственных работ / А. Ю. Поляков, О. Н. Скрыпник // Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024»: сборник статей Междунар. молодежного форума, Минск, 22–26 апреля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 106–110.
9. Жданович, С. А. Опыт применения БЛА для защиты лесного фонда от вредителей и болезней // Электронный архив Белорусского государственного технологического университета [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elib.belstu.by>. Дата доступа: 04.03.2026.
10. Борисенко, И. Б. Параметры применения беспилотных летательных аппаратов при обработке средствами защиты растений сельскохозяйственных культур / И. Б. Борисенко, М. В. Мезникова, Е. И. Улыбина [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>. Дата доступа: 04.03.2026.
11. Опрыскиватель самоходный БАРС ОС-2500М2 6х4: технические характеристики // Сайт лизинговой компании «Верум-Агро» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://verum-agro.ru/katalog/tehnika-dlya-zawityi-rastenij/opryskivatel/bars-os-2500m2-6h4-125694/>. – Дата доступа: 04.03.2026.
12. UAS Operators Safety and Reliability Survey: Emerging Technologies towards the Certification of Autonomous UAS / M. Osborne // 4th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/339171009_UAS_Operators_Safety_and_Reliability_Survey_Emerging_Technologies_towards_the_Certification_of_Autonomous_UAS. Дата доступа: 04.03.2026.
13. Внесение пестицидов // Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь (Белстат) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmeznaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii/f-2-vnesenie-udobrenii/f-4-vnesenie-pestitsidov/>. Дата доступа: 04.03.2026.

UDC 631.95:629.7.06

AGRODRONES IN AGRICULTURE: EFFICIENCY OF PESTICIDE APPLICATION AND RISK REDUCTION

Podryabinkin Z.D., Jalilova N.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N. V. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of IPIE

Annotation. The article assesses the economic feasibility of using unmanned aerial vehicles to minimize human contact with pesticides in agriculture. A comparison is made of the effectiveness of using unmanned aerial vehicles for spraying in comparison with other types of equipment.

Keywords: unmanned aerial vehicles; drones; agriculture; pesticides.