

УДК 004.942

<https://www.doi.org/10.47813/dnit-III.2024.11.3007>

EDN [XJCIQA](#)

К вопросу оценки производительности применения БПЛА для защиты растений

Д.И. Ковалев^{1,2}, К.Д. Астанакулов², И.В. Ковалев^{1,3,4*}

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

²Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан

³Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

⁴СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

*E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается модель оценки производительности применения БПЛА для защиты растений. Оценка выполнялась на основе опыта применения БПЛА для защиты растений в КНР. Базовая модель соответствует основным регламентам GB/5667-2008 (Управление по стандартизации Китая). Описываются испытания, которые проводились для восьми типов беспилотных летательных аппаратов защиты растений с различной мощностью, способами распыления и количеством несущих винтов. Использовались следующие модели БПЛА, производимые в КНР: CE20, P20, 4DE1000, HY-B-16L, MG-1S, LF-D10, 3WQF120-12 и AT-30. Отмечается, что метод не включает анализ надежности БПЛА для защиты растений. В работе представлена полная временная модель транспортно-технологического цикла БПЛА при его работе по опрыскиванию растений. Рассмотрена модель расчета времени пополнения запасов. На основе этих данных представлена общая модель оценки производительности для операции опрыскивания БПЛА для защиты растений.

Ключевые слова: БПЛА, защита растений, производительность, операция опрыскивания, транспортно-технологический цикл.

On the issue of assessing the performance of using UAVs for plant protection

D.I. Kovalev^{1,2}, K.D. Astanakulov², I.V. Kovalev^{1,3,4*}

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

²National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Tashkent, Uzbekistan

³Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

⁴Reshetnev University, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

Abstract. The article discusses a model for assessing the performance of UAVs for plant protection. The assessment was carried out based on the experience of using UAVs for plant protection in China. The basic model complies with the basic regulations of GB/5667-2008 (China Standardization Administration). Tests are described that were carried out on eight types of crop protection unmanned aerial vehicles with different power, spray methods and number of rotors. The following UAV models produced in China were used: CE20, P20, 4DE1000, HY-B-16L, MG-1S, LF-D10, 3WQF120-12 and AT-30. It is noted that the method does not include an analysis of the reliability of UAVs for plant protection. The paper presents a complete time model of the transport and technological cycle of a UAV during its work spraying plants. A model for calculating inventory replenishment time is considered. Based on these data, a general performance evaluation model for UAV spraying operation for crop protection is presented.

Keywords: UAV, plant protection, productivity, spraying operation, transport and technological cycle.

1. Введение

В работе [1] авторы исследовали временные операции транспортно-технологического цикла БПЛА и дали формализованное представление производственных операций БПЛА для опрыскивания сельскохозяйственных культур. Работа [2] была направлена на совершенствование общей теории производственных показателей и методов испытаний сельскохозяйственных БПЛА. В данной работе предлагается рассмотреть оценку производительность беспилотных летательных аппаратов, применяемых для защиты растений в КНР [3-6]. Базовая модель соответствует основным регламентам GB/5667-2008 (Управление по стандартизации Китая) [7] и имеет следующий вид:

$$W=0.36 B v \tau \quad (1)$$

где W – производительность, м²/ч; B – амплитуда распыления средств защиты объектов беспилотного летательного аппарата, м; v – скорость внесения, м/с; и τ — коэффициент использования времени, соотношение между чистым временем применения и общим временем в течение продолжительности применения БПЛА для защиты растений.

Применение пестицидов с помощью БПЛА для защиты растений требует частых взлетов и посадок, поэтому модель использования времени при распылении пестицидов будет выглядеть следующим образом:

$$\tau = \frac{\sum T_{zi}}{\sum T_{Ti}}, \quad (2)$$

где T_{zi} — чистое время распыления при опрыскивании i -го бака опрыскивающей жидкости, с, а T_{Ti} — общее время опрыскивания с использованием i -го бака опрыскивающей жидкости, с.

Исследование временной структуры транспортно-технологического цикла БПЛА и анализ производственных операций беспилотных летательных аппаратов для защиты растений позволит усовершенствовать базовую теории производственных показателей и методов испытаний, обобщить методы испытаний производственных показателей сельскохозяйственной техники [8]. Построение модели эффективной производительности опрыскивающих БПЛА позволит разработать технологические решения, направленные на улучшение производственных характеристик различных беспилотных авиационных платформ в соответствии с их характеристиками [9].

2. Материалы и методы

Метод не включает анализ надежности БПЛА для защиты растений. Таким образом, потери времени, связанные с отказами и сбоями аппаратно-программного обеспечения БПЛА, не входят в содержание испытаний аппаратов при оценке производительности БПЛА. Так как для оценки производительности БПЛА требуются масштабные испытания, то затраты на связь и координацию в случае ненадежного функционирования БПЛА вызовут дополнительные и не прогнозируемые задержки во времени. Методика оценки подразумевает, что общее время тестового испытания представляет собой сумму времени каждой операции вылета по распылению гербицидов. Операция опрыскивания БПЛА защиты объектов включает в себя подготовку перед первой эксплуатацией (сборка, обслуживание и отладка), снабжение (техническое обслуживание, дозирование, дозаправка или замена аккумуляторной батареи), корректировку ориентации перед работой (стабилизация скорости вращения несущего винта и выход на полетное задание), распыление, разворот (разгон и торможение при развороте), возврат (пустой ход и остановка несущего винта) и т.д. [10-12].

3. Результаты и обсуждение

Полная временная модель транспортно-технологического цикла БПЛА при его работе по опрыскиванию растений может быть представлена следующим уравнением:

$$T_{Ti} = T_{fp} + \sum(T_{si} + T_{ami} + T_{ai} + T_{ri} + T_{toi} + T_{sui}), \quad (3)$$

где T_{fp} – время подготовки перед первой операцией, с; T_{si} – общее время заправки i -го бака раствором, включая заправку, подзарядку или замену аккумуляторной батареи, техническое обслуживание и прочее время, с; T_{ami} – время корректировки до операции распыления с i -м резервуаром жидкости, с; T_{ai} – чистое время распыления при опрыскивании i -м баком, с; T_{ri} – время цикла при доставке i -го бака с раствором, с; T_{toi} – время от окончания распыления до остановки вращения ротора с i -м баком, с; T_{sui} – время перемещения i -го пункта снабжения, с.

3.1. Модель расчета времени пополнения запасов

На чистое время распыления в основном влияет максимальное время перемещения, время пополнения и время, в течение которого БПЛА может работать с полным баком распыляемой жидкости. Максимальный ход, который можно использовать при полном баке распыляемой жидкости, зависит от емкости бака, рабочей

скорости и общего расхода форсунки. Расчет максимального хода можно представить, как:

$$L_{max} = \frac{60Qv}{Q}, \quad (4)$$

где L_{max} – максимальный ход, который обеспечивается при полном баке жидкости, м; Q — (максимальная) емкость распыляемой жидкости, л; q – общий расход сопла, л/мин.

Как правило, при формировании полетного задания траектория полета планируется с наименьшим количеством точек заправки и наименьшим количеством разворотов во время операций опрыскивания. Например, предположим, что длина хода равна L , а ширина поля — B_f . Количество рабочих полетов БПЛА для выполнения операций обработки поля представляет собой отношение ширины поля к ширине опрыскивания и представлено следующим уравнением:

$$N_x = \left[\frac{B}{B_f} \right] \quad (5)$$

где B – рабочая ширина опрыскивания, м; B_f – ширина участка, м; N_x – количество рабочих ходов БПЛА. Ширина участка должна быть как можно больше, например, чтобы она в два раза превышала ширину распыления БПЛА. Это гарантирует, что операция опрыскивания исключает «пустой» ход БПЛА.

1) При $L_{max} \leq 2L$, точки пополнения запасов определяются, как

$$N_b = \left[\frac{2L}{L_{max}} \right]. \quad (6)$$

Количество пополнений составляет $N_s = N_b + \left[\frac{N_x}{2} \right] + \left[\frac{N_x [2L - (N_b - 1)L_{max}]}{2L_{max}} \right]$.

2) При $L_{max} > 2L$, на одной стороне поля устанавливается только одна точка пополнения запасов. В этом случае количество пополнений составляет:

$$N_s = \left[\frac{N_x}{\frac{L_{max}}{2L}} \right]. \quad (7)$$

3.2. Модель расчета производительности

Для получения модели оценки производительности для операции опрыскивания БПЛА для защиты растений, необходимо подставить уравнения (2) - (7) в уравнение (1). Тогда итоговое уравнение примет следующий вид:

$$W = 0.36Bv \frac{\sum_{i=1}^{N_a} T_{ai}}{T_{fp} + \sum_{i=1}^{N_a} (T_{si} + T_{ami} + T_{ai} + T_{toi}) + \sum_{i=1}^{N_s} T_{ri} + \sum_{i=1}^{N_b} T_{sui}}, \quad (8)$$

где N — количество пополнений, N_{am} — количество регулировок перед операциями внесения пестицидов, N_{to} — количество возвратов и остановок, а N_a — количество операций распыления. $N_s = N_{am} = N_{to} = N_a$. Число витков $N_r = N_b (N_x - 1)$. На основе статистических данных по результатам испытаний формируются временные параметры, используемые в полученной формуле [3, 4].

4. Заключение

Апробация модели производительности беспилотных летательных аппаратов, применяемых для защиты растений в КНР, представлена в [3]. Испытания проводились для восьми типов беспилотных летательных аппаратов защиты растений с различной мощностью, способами распыления и количеством несущих винтов. Использовались следующие модели БПЛА: CE20, P20, 4DE1000, HY-B-16L, MG-1S, LF-D10, 3WQF120-12 и AT-30. Полученные выводы по результатам проведенных в [1-4] исследований позволят агропредприятиям, работающим с БПЛА для защиты растений, оптимизировать эффективность наземного и бортового оборудования БПЛА, предоставить проверенные практикой методы оценки эксплуатационной эффективности БПЛА для защиты растений, и сформировать рекомендации по выбору типа БПЛА для защиты растений с учетом полевых условий и ресурсного обеспечения.

Список литературы

1. Ковалев И.В. К вопросу оценки производительности опрыскивания сельскохозяйственных культур беспилотными летательными аппаратами / И.В. Ковалев, Д.И. Ковалев, К.Д. Астанакулов // Модернизация, Инновации, Прогресс (МИП-V-2023) : сборник научных статей по материалам V Международной научной конференции, Красноярск, 13–15 сентября 2023 года. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2023. – С. 111-117. – <https://doi.org/10.47813/mip.5.2023.9.111-117>. – EDN BQEEOO
2. Ковалев Д.И. GERT-анализ транспортных технологических циклов беспилотных летательных аппаратов / Д.И. Ковалев, В.А. Подоплелова, Т.П. Мансурова // Информатика. Экономика. Управление. 1(1), – 2022. – С. 0110-0120. – <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2022-1-1-0110-0120>

3. Qin W. Productivity model and experiment of field crop spraying by plant protection unmanned aircraft / W. Qin, P. Chen, B. Wang // *Front. Plant Sci.* – 2023. – № 14. – 1168228. – <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1168228>
4. Wang S.L., Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China / S.L. Wang, J.L. Song, X.K. He, L. Song, X.N. Wang, C.L. Wang, et al. // *Int J Agric & Biol Eng.* – 2017. – № 10(4). – P. 22–31
5. Chen S. Evaluation and test of effective spraying width of aerial spraying on plant protection UAV / S. Chen, Y. Lan, J. Li, X. Xu, Z. Wang, B. Peng // *Trans. Chin. Soc Agric. Eng.* – 2017. – № 33(7). – P. 82. – <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.011>
6. Wang C. Testing method of spatial pesticide spraying deposition quality balance for unmanned aerial vehicle / C. Wang, X. He, X. Wang, Z. Wang, H. Pan, Z. He // *Trans. Chin. Soc Agric. Eng.* – 2016. – № 32(11). – P. 54-61. – <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.11.008>
7. Standardization Administration of China. GB/5667–2008 agricultural machinery production test methods. Beijing: Standards Press of China, (2008).
8. Kovalev I. Model implementation of the simulation environment of voting algorithms, as a dynamic system for increasing the reliability of the control complex of autonomous unmanned objects / I. Kovalev, V. Losev, M. Saramud, M. Petrosyan // *MATEC Web of Conferences*, Rostov-on-Don, September 13–15, 2017. – Vol. 132. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2017. – P. 04011. – <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713204011>. – EDN XNKSVN
9. Zhu H. Effects of application parameters on spray characteristics of multi-rotor UAV / H. Zhu, Y. Jiang, H. Li, J. Li, H. Zhang // *Int. J. Precis. Agric. Aviat.* – 2019. – № 2(1). – P. 18-25. – <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190201.0025>
10. Ковалев И.В. Анализ средств спецификации транспортно-технологических циклов БПЛА в умном сельском хозяйстве / И.В. Ковалев, Д.И. Ковалев, В.А. Подоплелова, М.Ф. Иконникова // *Системы управления и информационные технологии.* – 2023. – № 2(92). – С. 80-85. – EDN JBEVZX
11. Ru Y. (2012). Remote control spraying system based on unmanned helicopter / Y. Ru, Z. Jia, Q. Fan, J. Che // *Trans. Chin. Soc Agric. Mach.* 43 (6), 47–52. <http://dx.doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.009>

12. Xu B. Path planning algorithm for plant protection UAVs in multiple operation areas / B. Xu, L. Chen, M. Xu, Y. Tan // Trans. Chin. Soc Agric. Mach. – 2017. – № 48(2). – P. 75-81. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.010>