

УДК: 004.942; 631.3

EDN: NETOWB

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-1-0301-0311>



Анализ технологий применения БПЛА CE20 в составе беспилотных авиационных систем 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

Аннотация. На основе современной практики применения беспилотных систем сельскохозяйственного назначения в статье представлен анализ технологий применения БПЛА CE20 в составе беспилотных авиационных систем защиты растений. Актуальность исследования определяется интенсивным развитием современных беспилотных технологий для защиты растений. При этом характеристики используемых БПЛА существенно влияют на эффективность применения данных систем в точном земледелии. В статье рассматривается БПЛА CE20 производства Wuxi Hanhe Aviation Technology Co., Ltd., Китай. Представленный анализ применения БПЛА CE20 в составе беспилотных авиационных систем защиты растений позволил выявить основные технические характеристики БПЛА и их взаимосвязи с агротехнологическими приемами. Это, в свою очередь, обеспечивает эффективную техническую поддержку для приложений беспилотных авиационных систем защиты растений в точном земледелии. Представлены результаты тестовых полетов БПЛА для заданной полосы обработки поля. Исследована эффективность распыления. Отмечается, что такие параметры, как равномерность осаджения капель и скорость проникновения капель, тесно связаны и зависят от параметров БПЛА. Отмечается, что в случаях применения других типов БПЛА необходимо выполнять систематические эксперименты для определения оптимальных сочетаний параметров.

Ключевые слова: беспилотная авиационная система, БПЛА, технология, анализ.

Для цитирования: Ковалев, Д. И., Астанакулов, К. Д., & Ковалев, И. В. (2024). Анализ технологий применения БПЛА CE20 в составе беспилотных авиационных систем защиты растений. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 4(1), 0301–0311. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-1-0301-0311>

Analysis of technologies for using the CE20 UAV as part of unmanned aerial plant protection systems

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

¹*Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia*

²*National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural
Mechanization Engineers", Tashkent, Uzbekistan*

³*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

⁴*Reshetnev University, Krasnoyarsk, Russia*

Abstract. The article presents an analysis of the use of the CE20 UAV as part of unmanned aerial plant protection systems. The relevance of the study is determined by the intensive development of modern unmanned technologies for plant protection. At the same time, the characteristics of the UAVs used significantly affect the efficiency of using these systems in precision agriculture. The article discusses the CE20 UAV manufactured by Wuxi Hanhe Aviation Technology Co., Ltd., China. The presented analysis of the use of the CE20 UAV as part of unmanned aerial plant protection systems made it possible to identify the main technical characteristics of the UAV and their relationship with agrotechnological techniques. This, in turn, provides effective technical support for applications of unmanned aerial crop protection systems in precision agriculture. The results of UAV test flights for a given field processing strip are presented. Spray efficiency was studied. It is noted that parameters such as droplet deposition uniformity and droplet penetration speed are closely related and depend on the UAV parameters. It is noted that in cases where other types of UAVs are used, it is necessary to perform systematic experiments to determine the optimal combinations of parameters.

Keywords: unmanned aircraft system, UAV, technology, analysis.

For citation: Kovalev, D. I., Astanakulov, K. D., & Kovalev, I. V. (2024). Analysis of technologies for using the CE20 UAV as part of unmanned aerial plant protection systems. *Modern Innovations, Systems and Technologies*, 4(1), 0301–0311. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-1-0301-0311>

ВВЕДЕНИЕ

Практика применения современных беспилотных систем защиты растений (БСЗ) на сегодняшний день достаточно обширная. Такие системы формируются на базе БПЛА различных типов. При этом характеристики БПЛА существенно влияют на эффективность применения данных систем. Такой новый тип беспилотных технологий для защиты растений быстро развивается и широко используется в Китае. При этом многие исследователи, работающие в данной области, отмечают, что в настоящее время вопрос о том, как использовать БСЗ с научной точки зрения, стал главным приоритетом [1-5].

В работах [1, 2] авторы показывают, что на сегодняшний день взаимосвязь между рабочими параметрами БСЗ и эффективной шириной распыления (ЭШР), а также между характеристиками распределения капель при распылении и эффектом борьбы с насекомыми-вредителями и болезнями пока не ясна. Для выявления данных взаимосвязей предпринимается ряд экспериментальных исследований с использованием

различных БПЛА с варьированием основных технических параметров, таких как скорость полета, высота полета, объем распыления.

В работе [1] для электрического однороторного БПЛА типа CE20 проведены эксперименты с тремя уровнями скорости полета - 3, 4 и 5 м/с, тремя уровнями высоты полета - 1,5, 2,0 и 2,5 м и объемом распыления 2,0 л/мин. Исследовалось, как изменяемые параметры влияют на ЭШР, равномерность осаждения капель и скорость проникновения капель [3].

На основании полученных результатов в сочетании с агрономическими закономерностями возникновения насекомых-вредителей и болезней растений выбирались оптимальные параметры работы БСЗ. Результаты показали, что ЭШР для БПЛА CE20 не была постоянной. Максимальное значение ЭШР составило 5,78 м, а минимальное - 2,51 м. Скорость полета БПЛА оказала весьма значимое влияние на ЭШВ ($p = 0,0033 < 0,01$), в то время как высота полета и взаимодействие между скоростью и высотой полета не оказали существенного влияния на ЭШР. Коэффициент вариации осаждения капель составлял от 23,3% до 34,4%, что означало хорошую однородность осаждения.

Отмеченные нами результаты исследований доказывают, что за счет оптимизации параметров и сочетания агротехнологических приемов с помощью БСЗ можно добиться существенного повышения эффективности борьбы с насекомыми-вредителями и болезнями растений.

Предлагаемый нами анализ применения БПЛА CE20 в составе беспилотных авиационных систем защиты растений позволит выявить основные технические характеристики БПЛА и их взаимосвязи с агротехнологическими приемами, обеспечивающими техническую поддержку для приложений БСЗ в точном земледелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время в КНР на базе БПЛА CE20 формируются беспилотные авиационные системы защиты растений (Crop Protection Unmanned Aerial System – CPUAS [1]). Внешний вид CE20 производства Wuxi Hanhe Aviation Technology Co., Ltd., Китай показан на рисунке 1.



Рисунок 1. БПЛА CE20 (источник: https://m.cndising.com/en/Products/Smart_Products/Drone/222.html).

Figure 1. CE20 UAV (source: https://m.cndising.com/en/Products/Smart_Products/Drone/222.html).

CE20 представляет собой электрический одновинтовой БПЛА (вертолетного типа) с кинематической системой глобального позиционирования в реальном времени (RTK-GPS). Это позволяет обеспечивать полностью автономный полет по маршрутам, запланированным с помощью мобильного приложения. Более того, CE20 оснащен системой визуального отслеживания распыления в режиме реального времени. Это позволяет оператору обеспечивать обратную связь в режиме реального времени через приложение на смартфоне или планшете. Поэтому опрыскиваемую площадь можно рассчитать одновременно с выполнением БПЛА последовательных операций транспортно-технологического цикла (ТТЦ), не прерывая работу вертолета [6-8].

Кроме того, система GPS-слежения автоматически регулирует скорость выброса пестицидов в зависимости от скорости полета вертолета. Функция поддерживает равномерную норму расхода на единицу площади. Такие параметры, как скорость полета (FS) и высота полета (FH), а также объем распыления, настраиваются в мобильном приложении с точностью, контролируемой в пределах 0,30 м, 0,30 м/с и 0,05 л/мин., соответственно. Основные технические параметры дрона следующие:

- размер дрона - 1880 mm × 618 mm × 758 mm;
- диаметр ротора - 2388 mm;
- емкость батареи - 28,000 mAh × 2;
- длина штанги опрыскивателя - 1442 mm;
- максимальная загрузка - 20 L;

- количество насадок – 2;
- тип насадок – Hydraulic;
- расположение сопел – 800 мм по обе стороны фюзеляжа;
- объем распыления - 2.0 L/min;
- ширина распыления - 3–5 m.

Экспериментально полученные характеристики, например, разброс капель во время экспериментального распыления, получены при использовании водочувствительной бумаги (WSP). Дрон предназначен для использования инсектицидов и фунгицидов высокой концентрации для опрыскивания с воздуха для борьбы с тлей, мучнистой росой и фитофторозом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При фактическими применении CE20 устанавливаются следующие уровни: для FS - три уровня: 3, 4 и 5 м/с; для FH - три уровня: 1,5, 2,0 и 2,5 м. Объем распыления составляет 2,0 л/мин во время работы. Как правило, CE20 перелетает из зоны разгона в зону остановки для распыления по центральной линии зоны отбора проб в автономном режиме. Параметры обработки и результаты выполненных функций БПЛА CE20 представлены в [2].

С учетом того, что грузоподъемность БПЛА CE20 составляет до 35 килограммов сельскохозяйственных химикатов, то за каждый транспортно-технологический цикл данный БПЛА позволяет осуществить опрыскивание до 2,7 гектара земли за 20 минут, в зависимости от навыков оператора. Отметим, что это в 60-80 раз эффективнее, чем традиционное ручное опрыскивание.

Во время распыления пестицидов интенсивный нисходящий поток от вращения винта вертолета может способствовать раскрытию посевов, и пестициды смогут равномерно наноситься на нижнюю или корневую часть сельскохозяйственных культур, что способствует лучшей защите растений.

В точном земледелии использование сверхмалых объемов распыления сокращает затраты на воду и пестициды. Использование бензина с октановым числом 95 в качестве топлива может также снизить затраты на выполнение полетного задания. Кроме того, использование дистанционного управления позволяет оператору избегать

взаимодействия с химическими веществами, что значительно снижает как вред для оператора, так и влияние на окружающую среду.

Тестовые данные, представленные в [1] дают представление о результатах проведенных испытаний для заданной полосы обработки (ширина полосы варьировалась в пределах от 2,51 м. до 5,43 м.). Изучалась равномерность осаждения капель и скорость проникновения. Полоса обработки БПЛА CE20 не была постоянной и уменьшалась по мере общего увеличения скорости полета. Минимальная ширина составила 2,51, а максимальное значение составляло 5,78 м.

Для всех тестовых полетов БПЛА коэффициент вариации осаждения капель не превышал 35 %, из них минимальный - 23,30 % составил для двух экспериментальных обработок транспортно-технологических циклов ТТЦ-1 и ТТЦ-4, а максимальный - 34,40 % (экспериментальная обработка ТТЦ-6). Это подтвердило хорошую однородность осаждения в ЭШР.

Общее представление проведенных в [1] испытаниях БПЛА CE20 дает таблица 1.

Результаты исследования показывают, что ЭШР и КВ, влияя на эффективность распыления, тесно связаны и зависят от параметров БПЛА. Таким образом, обзор результатов, приведенных в [1-5], показывает, что при оптимизации параметров воздушного опрыскивания достигается эффект борьбы с тлей, мучнистой росой и фитофторозом, соответствующий реальным требованиям. Однако оптимизация должна сочетаться с агрономическими требованиями на основе выбора типов сельскохозяйственных культур, периода роста, характеристик вредителей и болезней, а также условий окружающей среды [8-10].

Таблица 1. Результаты испытаний БПЛА CE20.

Table 1. Test results of the CE20 UAV.

Номер транспортно-технологического цикла (ТТЦ 1-9)	Эффективная ширина распыления (ЭШР)	Коэффициент вариации осаждения капель (КВ)
ТТЦ-1	5,42	23,30%
ТТЦ-2	5,78	24,80%
ТТЦ-3	4,58	26,20%
ТТЦ-4	3,51	23,30%
ТТЦ-5	5,75	26,20%
ТТЦ-6	4,17	34,40%
ТТЦ-7	2,58	27,20%
ТТЦ-8	2,77	28,15%
ТТЦ-9	2,51	32,65%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ применения БПЛА в составе беспилотных авиационных систем защиты растений представляет результаты тестирования БПЛА CE20. Соответственно приведенные нами выводы применимы только к этому БПЛА. БСЗ, созданные на базе других типов БПЛА могут иметь отличные от рассмотренных характеристики распыления и осаднения капель, например, для многороторных БСЗ. Следовательно, в случаях применения других типов БПЛА необходимо выполнять систематические эксперименты для определения оптимальных сочетаний параметров [11-13]. В дальнейшем необходимо учитывать влияние структуры обрабатываемого поля [14] и силы ветра [15, 16] на эффект осаднения капель, чтобы установить их корреляцию, что будет способствовать достижению лучших практик в области управления и контроля БПЛА в точном земледелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Xue X., Lan Y., Sun Z., Chang C., Hoffmann W. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. *Comput. Electron. Agric.* 2016; 128: 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.022>
- [2] Huang C., Jiang Y., Wu J., Qiu K., Yang J. Occurrence and characteristics and reason analysis of wheat head blight in 2018 in China. *Plant Prot.* 2019; 4: 160-163.
- [3] Chen P., Lan Y., Huang X., Qi H., Wang G., Wang J., Wang L., Xiao H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. *Agronomy.* 2020; 10: 303. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020303>
- [4] Qin W., Xue X., Zhang S., Gu W., Wang B. Droplet deposition and efficiency of fungicides sprayed with small UAV against wheat powdery mildew. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2018; 11: 27-32. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3157>
- [5] Ковалев Д.И., Подоплелова В.А., Мансурова Т.П. GERT-анализ транспортных технологических циклов беспилотных летательных аппаратов. *Информатика. Экономика. Управление.* 2022; 1(1): 110-120. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2022-1-1-0110-0120>
- [6] Kovalev I.V., Kovalev D.I., Voroshilova A.A. [et al.] GERT analysis of UAV transport technological cycles when used in precision agriculture. *IOP Conference Series: Earth*

- and Environmental Science. 2022; 1076(1): 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012055>
- [7] Ковалев И.В., Ковалев Д.И., Астанакулов К.Д. [и др.] К вопросу минимизации затрат в GERT-сетевых моделях транспортно-технологических циклов БПЛА. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023; 11-2(41): 30-31. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.41.2.014>
- [8] Худаев И., Фазлиев Ж. Совершенствование водосберегающей технологии орошения в предгорных районах на юге Республики Узбекистан. Современные инновации, системы и технологии. 2022; 2(2): 0301-0309. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0301-0309>
- [9] Ковалев И.В., Ковалев Д.И., Подоплелова В.А., Иконникова М.Ф. Анализ средств спецификации транспортно-технологических циклов БПЛА в умном сельском хозяйстве. Системы управления и информационные технологии. 2023; 2(92): 80-85.
- [10] Михайлов И.Р., Абрамов Н.А., Долматов С.Н. Методы дистанционного зондирования земли в лесной промышленности. Современные инновации, системы и технологии. 2023; 3(3): 0301-0310. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-3-0301-0310>
- [11] Zhang S., Xue X., Sun T., Gu W., Zhang C., Peng B., Sun X. Evaluation and comparison of two typical kinds UAAS based on the first industry standard of China. Int. Agric. Eng. J. 2020; 29: 331-340. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201303.5439>
- [12] Qiu B., Wang L., Cai D., Wu J., Ding G., Guan X. Effects of flight altitude and speed of unmanned helicopter on spray deposition uniform. Chin. Soc. Agric. Eng. 2013; 29: 25-32.
- [13] Zhang S., Qiu B., Xue X., Sun T., Peng B. Parameters optimization of crop protection UAS based on the first industry standard of China. Int. J. Agric. Biol. Eng. 2020; 13: 29-35. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201303.5439>
- [14] Meng Y., Su J., Song J., Chen W., Lan Y. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. Comput. Electron. Agric. 2020; 170: 105282. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105282>
- [15] Chen S., Lan Y., Li J., Zhou Z., Liu A., Mao Y. Effect of wind field below unmanned helicopter on droplet deposition distribution of aerial spraying. Int. J. Agric. Biol. Eng. 2017; 10: 67-77.

- [16] Li J., Shi Y., Lan Y., Guo S. Vertical distribution and vortex structure of rotor wind field under the influence of rice canopy. *Comput. Electron. Agric.* 2019; 159: 140-146.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.027>

REFERENCES

- [1] Xue X., Lan Y., Sun Z., Chang C., Hoffmann W. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. *Comput. Electron. Agric.* 2016; 128: 58-66.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.022>
- [2] Huang C., Jiang Y., Wu J., Qiu K., Yang J. Occurrence and characteristics and reason analysis of wheat head blight in 2018 in China. *Plant Prot.* 2019; 4: 160-163.
- [3] Chen P., Lan Y., Huang X., Qi H., Wang G., Wang J., Wang L., Xiao H. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. *Agronomy.* 2020; 10: 303.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10020303>
- [4] Qin W., Xue X., Zhang S., Gu W., Wang B. Droplet deposition and efficiency of fungicides sprayed with small UAV against wheat powdery mildew. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2018; 11: 27-32. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3157>
- [5] Kovalev D.I., Podoplelova V.A., Mansurova T.P. GERT-analiz transportnyh tekhnologicheskikh ciklov bespilotnyh letatel'nyh apparatov. *Informatika. Ekonomika. Upravlenie.* 2022; 1(1): 110-120. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2022-1-1-0110-0120> (in Russian)
- [6] Kovalev I.V., Kovalev D.I., Voroshilova A.A. [et al.] GERT analysis of UAV transport technological cycles when used in precision agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2022; 1076(1): 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012055>
- [7] Kovalev I.V., Kovalev D.I., Astanakulov K.D. [i dr.] K voprosu minimizacii zatrat v GERT-setevykh modelyakh transportno-tekhnologicheskikh ciklov BPLA. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii.* 2023; 11-2(41): 30-31.
<https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.41.2.014> (in Russian)
- [8] Hudaev I., Fazliev ZH. Sovershenstvovanie vodosberegayushchej tekhnologii orosheniya v predgornyyh rajonah na yuge Respubliki Uzbekistan. *Sovremennye innovacii, sistemy i*

- tehnologii. 2022; 2(2): 0301-0309. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0301-0309> (in Russian)
- [9] Kovalev I.V., Kovalev D.I., Podoplelova V.A., Ikonnikova M.F. Analiz sredstv specifikacii transportno-tehnologicheskikh ciklov BPLA v umnom sel'skom hozyajstve. Sistemy upravleniya i informacionnye tehnologii. 2023; 2(92): 80-85. (in Russian)
- [10] Mihajlov I.R., Abramov N.A., Dolmatov S.N. Metody distancionnogo zondirovaniya zemli v lesnoj promyshlennosti. Sovremennye innovacii, sistemy i tehnologii. 2023; 3(3): 0301-0310. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-3-0301-0310> (in Russian)
- [11] Zhang S., Xue X., Sun T., Gu W., Zhang C., Peng B., Sun X. Evaluation and comparison of two typical kinds UAAS based on the first industry standard of China. Int. Agric. Eng. J. 2020; 29: 331-340. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3157>
- [12] Qiu B., Wang L., Cai D., Wu J., Ding G., Guan X. Effects of flight altitude and speed of unmanned helicopter on spray deposition uniform. Chin. Soc. Agric. Eng. 2013; 29: 25-32.
- [13] Zhang S., Qiu B., Xue X., Sun T., Peng B. Parameters optimization of crop protection UAS based on the first industry standard of China. Int. J. Agric. Biol. Eng. 2020; 13: 29-35. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201303.5439>
- [14] Meng Y., Su J., Song J., Chen W., Lan Y. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. Comput. Electron. Agric. 2020; 170: 105282. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105282>
- [15] Chen S., Lan Y., Li J., Zhou Z., Liu A., Mao Y. Effect of wind field below unmanned helicopter on droplet deposition distribution of aerial spraying. Int. J. Agric. Biol. Eng. 2017; 10: 67-77.
- [16] Li J., Shi Y., Lan Y., Guo S. Vertical distribution and vortex structure of rotor wind field under the influence of rice canopy. Comput. Electron. Agric. 2019; 159: 140-146. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.027>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ковалев Дмитрий Игоревич, аспирант, кафедра информационных технологий и математического обеспечения информационных систем, Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Российская Федерация
ORCID: 0000-0001-5308-308X

Dmitry Kovalev, graduate student, Department of Information Technologies and Mathematical Support of Information Systems, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation
ORCID: 0000-0001-5308-308X

Астанакулов Комил Дуллиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан
ORCID: 0000-0002-9585-7765

Komil Astanakulov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of the National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Tashkent, Uzbekistan
ORCID: 0000-0002-9585-7765

Ковалев Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация
ORCID ID: 0000-0003-2128-6661

Igor Kovalev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
ORCID ID: 0000-0003-2128-6661

Статья поступила в редакцию 12.02.2024; одобрена после рецензирования 11.03.2024; принята к публикации 12.03.2024.

The article was submitted 12.02.2024; approved after reviewing 11.03.2024; accepted for publication 12.03.2024.