

## Алгоритм расчета времени полета беспилотного воздушного судна для проведения аэросъемки

**Рашид Курбанович Курбанов,**

кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Показали возможность использования дополнительного подвесного оборудования для проведения аэросъемки с помощью беспилотного воздушного судна. Отметили, что ряд параметров беспилотника и дополнительного подвесного оборудования не учитывается программным обеспечением при расчете времени полета дрона на одном заряде аккумуляторной батареи. (*Цель исследования*) Разработать алгоритм для расчета времени полета беспилотного воздушного судна с установленным подвесным оборудованием. (*Материалы и методы*) Изучили технические характеристики *DJI Phantom 4 pro* и *DJI Matrice 200v2*, а также спецификации мультиспектральных камер *Parrot Sequoia*, *MicaSense Altum*, устанавливаемых на беспилотник. Использовали результаты научных исследований по расчету времени полетного задания в зависимости от длины маршрута и емкости аккумуляторной батареи. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что максимальное время полета беспилотника с дополнительным подвесным оборудованием сокращается из-за повышенной массы, потребляемой им мощности, времени предполетной подготовки, полетной нагрузки, необходимости возврата в точку взлета и сохранения ресурса аккумуляторной батареи. Рассчитали максимальное время полета *DJI Phantom 4 pro* и *DJI Matrice 200v2* с мультиспектральными камерами *Parrot Sequoia*, *MicaSense Altum* – 8 и 18 минут соответственно, при минимальной полетной нагрузке. Определили метод расчета количества аккумуляторных батарей для проведения аэросъемки с дополнительным подвесным оборудованием. (*Выводы*) Разработали алгоритм для расчета времени полета беспилотника с дополнительным подвесным оборудованием, учитывающий параметры, не включенные в расчет времени полета стандартным программным обеспечением.

**Ключевые слова:** цифровое сельское хозяйство, беспилотное воздушное судно, аэрофотосъемка, мультиспектральная камера, подвесное оборудование, полетное задание, время полета.

■ **Для цитирования:** Курбанов Р.К. Алгоритм расчета времени полета беспилотного воздушного судна для проведения аэросъемки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №1. С. 35-40. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-35-40. EDN LFBYUM.

## Algorithm for Calculating the Flight Time of an Unmanned Aerial Vehicle for Aerial Photography

**Rashid K. Kurbanov,**

Ph.D.(Eng.), leading researcher,  
e-mail: smedia@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

*Abstract.* The paper shows the possibility of using unmanned aerial vehicles with additional outboard equipment for aerial photography. It is noted that some parameters of the drone and additional suspension equipment are not taken into account by the software when calculating the drone flight time for one battery charge. (*Research purpose*) To develop an algorithm for calculating the flight time of an unmanned aerial vehicle with installed outboard equipment. (*Materials and methods*) The technical characteristics of *DJI Phantom 4 pro* and *DJI Matrice 200v2* were studied, as well as the specifications of *Parrot Sequoia*, *MicaSense Altum* multispectral cameras mounted on the drone. The existing research results are used to calculate the flight mission time depending on the route length and the battery capacity. (*Results and discussion*) It is found that the maximum flight time of a drone with additional outboard equipment is reduced due to the additional equipment mass, increased power consumption, the pre-flight preparation time, the need to return to the take-off point and the necessity to preserve the battery life and save the flight load. The maximum flight time calculated for *DJI Phantom 4 pro* and *DJI Matrice 200v2* with multispectral cameras *Parrot Sequoia*,

MicaSense Altum is 8 minutes and 18 minutes, respectively, with a minimum flight load. A method for calculating the number of batteries for aerial photography with additional outboard equipment is determined. (*Conclusions*) An algorithm for calculating the flight time of an unmanned aerial vehicle with additional outboard equipment is developed, the parameters ignored by the standard software in the flight time calculation are taken into account.

**Keywords:** digital agriculture, unmanned aerial vehicle, aerial photography, multispectral camera, outboard equipment, flight mission, flight time.

**For citation:** Kurbanov R.K. Algorithm rascheta vremeni poleta bespilnogo vozdušnogo sudna dlya provedeniya aérosemki [Algorithm for calculating the flight time of an unmanned aerial vehicle for aerial photography]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N1. 35-40 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-35-40. EDN LFJBYM.

В сельском хозяйстве большое распространение получили беспилотные воздушные суда (БВС) для мониторинга состояния почв и растений [1-6]. Для повышения эффективности использования ресурсов БВС и оптимизации процесса аэро съемки на борт БВС, кроме RGB камер, устанавливают дополнительное подвесное оборудование (мультиспектральные, гиперспектральные камеры, лазерные сканеры) [7-12]. Однако для его крепления отсутствуют серийно выпускаемые подвесы [13]. Внешние пилоты вынуждены самостоятельно разрабатывать необходимые крепежные элементы [12-13].

Предполетная подготовка беспилотника начинается с его осмотра, установки мультиспектральной камеры или другого подвесного оборудования с помощью специального подвеса [14-17]. Затем настраивают и калибруют датчики БВС и мультиспектральной камеры [18, 19]. Во время предполетной калибровки расходуется заряд аккумуляторной батареи [20]. Подвесное оборудование увеличивает массу БВС и дополнительно расходует заряд аккумуляторов БВС. В итоге дополнительное подвесное оборудование и предполетная подготовка сокращают время одного полета и увеличивают общее время проведения аэро съемки.

Такие параметры, как масса дополнительного оборудования, потребляемая мощность, время предполетной подготовки и полетная нагрузка не учитываются программным обеспечением при расчете времени полета БВС на одном заряде аккумуляторной батареи. В связи с чем информация о времени и необходимом количестве аккумуляторов для проведения аэро съемки исследуемого участка будет некорректной. При расчете фактического полетного времени БВС на одном заряде аккумуляторной батареи необходимо принимать во внимание вышеперечисленные параметры.

**Цель исследования** – разработка алгоритма для расчета времени полета БВС с установленным подвесным оборудованием.

**Материалы и методы.** В исследовании использовали технические характеристики БВС *DJI Phantom 4 pro* и *DJI Matrice 200v2*, а также мультиспектральных

камер: *Parrot Sequoia*, *MicaSense Altum* (рис. 1) [21-24].

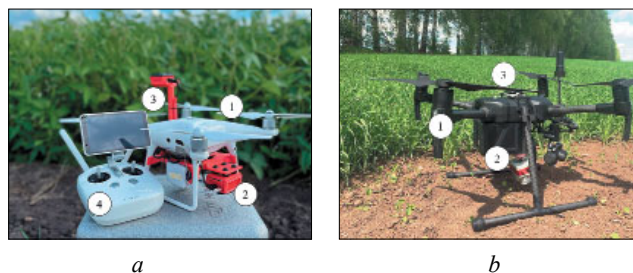


Рис. 1. Платформы на базе БВС, разработанные сотрудниками ФНАЦ ВИМ: а – БВС *DJI Phantom 4 pro* с мультиспектральной камерой *Parrot Sequoia*; б – БВС *DJI Matrice 200 v2* с мультиспектральной камерой *MicaSense Altum* (1 – БВС; 2 – крепление мультиспектральной камеры; 3 – крепление датчика освещенности; 4 – пульт управления БВС)

Fig. 1. UAV-based platforms developed by the FSAC VIM staff: a – UAV *DJI Phantom 4 pro* with *Parrot Sequoia* multispectral camera; b – UAV *DJI Matrice 200 v2* with *MicaSense Altum* multispectral camera (1 – UAV; 2 – multispectral camera mount; 3 – light sensor mount; 4 – UAV control panel)

Для расчета времени полетного задания  $t_{\text{fly}}$ , мин, использовали выражение [25]:

$$t_{\text{fly}} = \frac{N_y \cdot (L_x + 3 \cdot B_x)}{V_{\text{fly}} \cdot 60}, \quad (1)$$

где  $N_y$  – количество пролетов;

$V_{\text{fly}}$  – скорость полета, м/с;

$B_x$  – расстояние между центрами соседних изображений, м;

$L_x$  – длина исследуемого участка, м.

Ожидаемое полетное время БВС в соответствии с емкостью аккумуляторной батареи  $t_{\text{max}}$ , мин, определяется формулой [26, 27]:

$$t_{\text{max}} = Q \cdot \frac{D_{\text{max}}}{I} \cdot 60, \quad (2)$$

где  $Q$  – емкость *LiPo* батареи, Ач;

$D_{\text{max}}$  – максимальная разрядка аккумуляторной батареи, %;

$I$  – сила тока, А.

Примеч:

$$D_{\max} = 100\% - D_r - D_{\text{com}}, \quad (3)$$

где  $D_r$  – запас заряда аккумулятора, %;

$D_{\text{com}}$  – разрядка аккумуляторной батареи в ходе подготовки БВС и безопасного возврата домой, %;

$$I = m \cdot \left(\frac{P}{V}\right), \quad (4)$$

где  $m$  – общая масса оборудования, которое поднимается в воздух, кг;

$P$  – мощность, необходимая для подъема 1 кг оборудования, Вт/кг;

$V$  – напряжение батареи, В.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Формула (2) применима при расчете полетного времени БВС без дополнительного оборудования и в безветренную погоду. Проведение аэросъемки в полевых условиях подразумевает дополнительные полетные нагрузки, например постоянный ветер до 5 м/с и его порывы до 20 м/с. Такие условия сокращают время полета БВС.

Принято считать, что полетная нагрузка,  $L_{\text{fly}}$ , %, зависит от средней скорости ветра и БВС, а также режима полета (таблица). Чем выше полетная нагрузка, тем меньше полетное время.

Перед каждым полетом следует подготовить БВС и подвесное оборудование, откалибровать и настроить камеры и компас. На предполетную подготовку уходит до 5% заряда аккумуляторной батареи. Для сохранения ее ресурса необходимо оставлять заряд на уровне ~15%. В зависимости от конфигурации поля и вида съемки для совершения безопасного возврата на точку взлета расходуется от 5 до 50% заряда аккумуляторной батареи. В расчетах используется минимальный уровень разряда аккумулятора, необходимый для совершения безопасного возврата на точку взлета. В результате до 20% заряда аккумуляторной батареи не участвуют в расчете полетного времени.

Дополнительное подвесное оборудование, подключенное к борту БВС, снижает его время полета. Чем больше сила тока, необходимая для работы дополнительного подвесного оборудования, тем меньше время полета БВС. В зависимости от технических харак-

теристик мультиспектральной камеры ее мощность варьируется, так как она меняет режим работы. Для обеспечения пиковых нагрузок мультиспектральных камер необходима сила тока: *Parrot Sequoia* – около 3 А, *MicaSense Altum* – 2 А.

С учетом перечисленных параметров, итоговая формула для расчета времени полета выглядит следующим образом:

$$t_{\max} = (Q - Q_{\text{ad}}) \cdot \frac{100\% - D_r - D_{\text{com}}}{(m_1 + m_2) \cdot \frac{P}{V}} \cdot 60 \cdot (1 - L_{\text{fly}}), \quad (5)$$

где  $m_1$  – масса БВС, кг;

$m_2$  – масса подвесного оборудования, кг;

$Q_{\text{ad}}$  – емкость аккумулятора, необходимая для работы дополнительного подвесного оборудования, Ач;  
 $L_{\text{fly}}$  – полетная нагрузка, %.

В соответствии с полученной формулой рассчитано время полета БВС с подвесным оборудованием на борту при полетной нагрузке 25; 50 и 75% (рис. 2). В соответствии с техническими характеристиками максимальное время полета БВС *DJI Matrice 200 v2* – 38 мин, *DJI Phantom 4 pro* – 30 мин. При аэрофотосъемке с минимальной полетной нагрузкой время полета *DJI Matrice 200 v2* с мультиспектральной камерой *MicaSense Altum* составит ~18 мин, *DJI Phantom 4 pro* с мультиспектральной камерой *Parrot Sequoia* ~8 мин. В рамках рассчитанного времени обеспечивается безопасность полета. Рассчитанное время может быть увеличено до 3 мин вследствие быстрой предполетной подготовки БВС (1% вместо 5%) и меньшего потребления мультиспектральной камеры (в расчете учитываются пиковые значения режима работы).

Количество необходимых аккумуляторных батарей  $N$ , шт., для аэрофотосъемки зависит от площади исследуемого участка, поперечного и продольного перекрытия, скорости и высоты полета. При его расчете применимо выражение:

$$N = \left\lceil \frac{t_{\text{fly}}}{t_{\max}} \right\rceil. \quad (6)$$

Разработан алгоритм расчета времени полета БВС с подвесным оборудованием, подключенным к бор-

Параметры Parameters	Минимальная нагрузка Minimum load	Средняя нагрузка Medium Load	Высокая нагрузка High load
Полетная нагрузка, % Flight load, %	25	50	70
Режим полета Flight mode	аэрофотосъемка челночным методом shuttle aerial photography	аэрофотосъемка челночным методом shuttle aerial photography	режим спорт, гонки sport/racing mode
Средняя скорость ветра, м/с Average wind speed, m/s	2	10	10
Средняя скорость БВС, м/с Average UAV speed, m/s	3	12	20

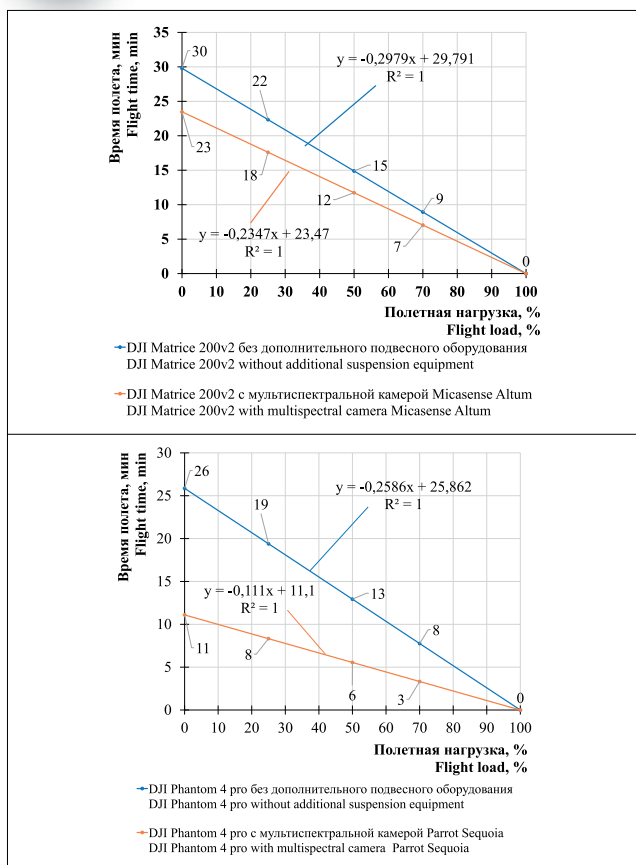


Рис. 2. Время полета БВС с подвесным оборудованием на борту  
Fig 2. Flight time of the UAV with additional outboard equipment on board

ту БВС (рис. 3). При изменении параметров полетного задания по возможности меняются значения высоты, направления и скорости полета, продольного и поперечного перекрытия, площади участка. Если на перечисленные параметры повлиять невозможно, то  $t_{fly}$  не меняется.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Байгутлина И.А. Испытания новых типов БПЛА // *Практические аспекты применения современных беспилотных летательных аппаратов*. 2022. С. 168-186.
- Костин П.И. Применение беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве // *Вестник науки и образования*. 2022. N1-2(121). С. 60-62.
- Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве (окончание) // *Техника и оборудование для села*. 2022. N4(298). С. 2-6.
- Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
- Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3 (32). С. 94-100.
- Ценч Ю.С., Маслов Г.Г., Трубилин Е.Г. К истории развития сельскохозяйственной техники // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. N3(47). С. 117-123.
- Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229.
- Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 46-55.
- Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. N15(4). С. 6-10.
- Аникеева И.А. Оценка рекомендуемых и допустимых значений показателей изобразительного качества по материалам, полученным различными аэрофотосъемоч-

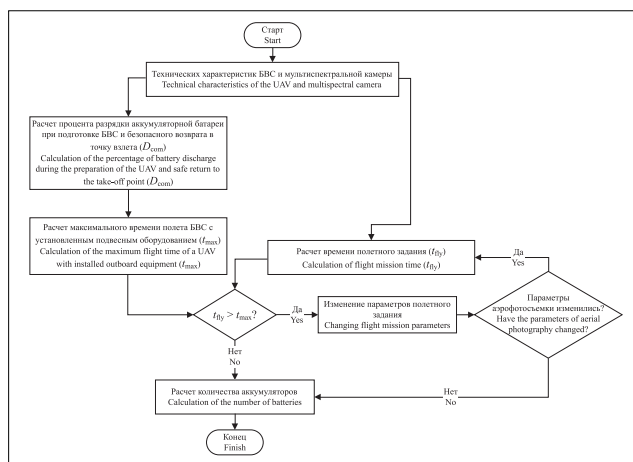


Рис. 3. Алгоритм расчета полетного времени БВС  
Fig 3. The algorithm for calculating UAV flight time

**Выводы.** Разработан алгоритм расчета времени полета БВС с дополнительным подвесным оборудованием. Алгоритм учитывает параметры, которые не включены в стандартный расчет времени полета БВС: массу дополнительного оборудования, потребляемую мощность, время предполетной подготовки, безопасный возврат в точку взлета, сохранение ресурса аккумуляторной батареи и полетную нагрузку. С учетом этих факторов рассчитано время полета *DJI Matrice 200 v2* и *DJI Phantom 4 pro* с мультиспектральной камерой на борту и без нее. Время полета с камерами *MicaSense Altum* и *Parrot Sequoia* составит примерно 18 и 8 мин соответственно. Данный алгоритм позволит спланировать количество необходимых аккумуляторных батарей и точно рассчитать время для проведения аэрофотосъемки с дополнительным подвесным оборудованием. В рамках рассчитанного времени обеспечиваются безопасный полет и предотвращение снижения емкости аккумуляторной батареи.



- ными системами для целей картографирования // *Геодезия и картография*. 2021. N9. С. 30-40.
11. Акинчин А.В., Левшаков Л.В., Линков С.А. и др. Информационные технологии в системе точного земледелия // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. N9. С. 16-21.
  12. Костомарин М. Н., Курбанов Р.К., Кынев Н.Г. Точное земледелие расширяет свои границы // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. N3. С. 7-9.
  13. Титович М.В., Таргонская М.В., Афанасьева Л.В. и др. Многофункциональная беспилотная мобильная платформа. Обеспечение точного земледелия // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2018. N3(14). С. 898-900.
  14. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. N012062.
  15. Морозов С.Е., Чернов В.Ю. Разработка модульного квадрокоптера // *Точная наука*. 2019. N54. С. 25-27.
  16. Przybilla H.-J., Gerke M., Dikhoff I., Ghassoun Y. Investigations on the geometric quality of cameras for UAV applications using the high precision UAV test field zollern colliery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 2019. N42(2/W13). 531-538.
  17. Кузнецова И.А., Гильязов М.Р. Влияние высоты полета беспилотного летального аппарата при обработке данных в автоматизированных программных обеспечениях // *StudNet*. 2021. Т. 4. N5.
  18. Young D.J.N., Koontz M.J., Weeks J.M. Optimizing aerial imagery collection and processing parameters for drone-based individual tree mapping in structurally complex conifer forests. *Methods in Ecology and Evolution*. 2022. N13(7). 1447-1463.
  19. Степанов С.В., Волков С.С., Набатчиков А.В. Моделирование системы питания БПЛА ближнего действия // *Математика и математическое моделирование: Сб. материалов XVI Всероссийской молодежной научно-инновационной школы*. Саров: Интерконтакт. 2022. С. 31-32.
  20. Yeom J., Jung J., Chang A., Ashapure A., Maeda M., Maeda A., Landivar J. Comparison of vegetation indices derived from uav data for differentiation of tillage effects in agriculture. *Remote Sensing*. 2019. N11. 1548.
  21. Rosas J.T.F., de Carvalho Pinto F.d., de Queiroz, D.M., et al. Coffee ripeness monitoring using a UAV-mounted low-cost multispectral camera. *Precision Agriculture*. 2022. N23. 300-318.
  22. Rogers S.R., Manning I., Livingstone W. Comparing the spatial accuracy of digital surface models from four unoccupied aerial systems: photogrammetry versus LiDAR. *Remote Sensing*. 2020. N12. 2806.
  23. Daugela I., Visockiene J.S., Kumpiene J. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. N10. 127-138.
  24. Beranek C.T., Roff A., Denholm B., Howell L.G., Witt R.R. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020. <https://doi.org/10.1071/AM20043>.
  25. Арзамасцев А.А. Задачи маршрутизации для беспилотных мультироторных летательных аппаратов // *Материалы и методы инновационных исследований и разработок: Сб. статей Международной научно-практической конференции Оренбург: Аэтерна*. 2018. С. 5-8.
  26. Арзамасцев А.А., Крючков А.А. Математические модели для инженерных расчетов летательных аппаратов мультироторного типа (часть 1) // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2014. N19 (6). С. 1821-1828.
  27. Лебедев А.Е. Актуальность использования литиево-полимерных батарей в современном оборудовании // *Сетевой научный журнал ОрелГАУ*. 2016. Т. 1(6). С. 139-151.

## REFERENCES

1. Baygutlina I.A. Ispytaniya novykh tipov BPLA [Testing new types of UAVs]. *Prakticheskie aspekty primeneniya sovremennykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov*. 2022. 168-186 (In Russian).
2. Kostin P.I. Primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov v lesnom khozyaystve [Application of unmanned aircraft in forestry]. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2022. N1-2(121). 60-62 (In Russian).
3. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Rezul'taty nauchnykh issledovaniy agroinzhenernykh nauchnykh organizatsiy po razvitiyu tsifrovyykh sistem v sel'skom khozyaystve (okonchanie) [The results of scientific research of agro-engineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 2-6 (In Russian).
4. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
5. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 94-100 (In Russian).
6. Tsench Yu.S., Maslov G.G., Trubilin E.G. K istorii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [On the history of agricultural machinery development]. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2018. N3(47). 117-123 (In Russian).
7. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
8. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozдание i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Cre-

- ation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. N12. 46-55.
9. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovye tekhnologii i robotizirovannye tekhnicheskie sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic devices in the agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. N15(4). 6-10 (In Russian).
  10. Anikeeva I.A. Otsenka rekomenduemykh i dopustimyykh znacheniy pokazately izobrazitel'nogo kachestva po materialam, poluchennym razlichnymi aerofotosemochnymi sistemami dlya tseley kartografirovaniya [Assessment of recommended and acceptable image quality indicators' values, based on materials, obtained with various aerial surveying systems for mapping purposes]. *Geodeziya i kartografiya*. 2021. N9. 30-40 (In Russian).
  11. Akinchin A.V., Levshakov L.V., Linkov S.A., et al. Informatsionnye tekhnologii v sisteme tochnogo zemledeliya [Information technology in the precision farming system] *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017. N9. 16-21 (In Russian).
  12. Kostomakhin M.N., Kurbanov R.K., Kynev N.G. Tochnoe zemledelie rasshiryaet svoi granitsy [Technical support for modernization of AIC]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2018. N3. 7-9 (In Russian).
  13. Titovich M.V., Targonskaya M.V., Afanas'eva L.V., et al. Mnogofunktsional'naya bespilotnaya mobil'naya platforma. Obespechenie tochnogo zemledeliya [Multifunctional unmanned mobile platform. provision of exact agriculture]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*. 2018. N3(14). 898-900 (In Russian).
  14. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. N012062 (In English).
  15. Morozov S.E., Chernov V.Yu. Razrabotka modul'nogo kvadroptera [Development of a modular quadrocopter]. *Tochnaya nauka*. 2019. N54. 25-27 (In Russian).
  16. Przybilla H.-J., Gerke M., Dikhoff I., Ghassoun Y. Investigations on the geometric quality of cameras for UAV applications using the high precision UAV test field zollern colliery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 2019. N42(2/W13). 531-538 (In English).
  17. Kuznetsova I.A., Gil'yazov M.R. Vliyaniye vysoty poleta bespilotnogo letalnogo apparata pri obrabotke dannykh v avtomatizirovannykh programmnykh obespecheniyakh [Influence of unmanned aircraft flight altitude during data processing in automated software]. *StudNet*. 2021. Vol. 4. N5 (In Russian).
  18. Young D.J.N., Koontz M.J., Weeks J.M. Optimizing aerial imagery collection and processing parameters for drone-based individual tree mapping in structurally complex conifer forests. *Methods in Ecology and Evolution*. 2022. N13(7). 1447-1463 (In English).
  19. Stepanov S.V., Volkov S.S., Nabatchikov A.V. Modelirovaniye sistemy pitaniya BPLA blizhnego deystviya [Modeling the power system of a short-range UAV]. *Matematika i matematicheskoe modelirovaniye: Sb. materialov XVI Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-innovatsionnoy shkoly. Sarov: Interkontakt*. 2022. 31-32 (In Russian).
  20. Yeom J., Jung J., Chang A., Ashapure A., Maeda M., Maeda A., Landivar J. Comparison of vegetation indices derived from uav data for differentiation of tillage effects in agriculture. *Remote Sensing*. 2019. N11. 1548 (In English).
  21. Rosas J.T.F., de Carvalho Pinto F.d., de Queiroz, D.M., et al. Coffee ripeness monitoring using a UAV-mounted low-cost multispectral camera. *Precision Agriculture*. 2022. N23. 300-318 (In English).
  22. Rogers S.R., Manning I., Livingstone W. Comparing the spatial accuracy of digital surface models from four unoccupied aerial systems: photogrammetry versus LiDAR. *Remote Sensing*. 2020. N12. 2806 (In English).
  23. Daugela I., Visockiene J.S., Kumpiene J. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. N10. 127-138 (In English).
  24. Beranek C.T., Roff A., Denholm B., Howell L.G., Witt R.R. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020 (In English).
  25. Arzamastsev A.A. Zadachi marshrutizatsii dlya bespilotnykh mul'tirotnykh letatel'nykh apparatov [Routing tasks for unmanned multi-rotor aerial vehicles]. *Materialy i metody innovatsionnykh issledovaniy i razrabotok: Sb. statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: Aeterna*. 2018. 5-8 (In Russian).
  26. Arzamastsev A.A., Kryuchkov A.A. Matematicheskie modeli dlya inzhenernykh raschetov letatel'nykh apparatov mul'tirotnogo tipa (chast' 1) [Mathematical models for engineering calculations of aircrafts of multi-rotor type (Part1)]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2014. N19(6). 1821-1828 (In Russian)
  27. Lebedev A.E. Aktual'nost' ispol'zovaniya litievo-polimernykh batarey v sovremennom oborudovanii [The importance of using lithium-polymer batteries in modern equipment]. *Setevoy nauchnyy zhurnal OrelGAU*. 2016. Vol. 1(6). 139-151 (In Russian).

#### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

#### Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.  
The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию  
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on  
The paper was accepted for publication on

14.12.2022  
21.02.2023