

Обоснование параметров полетного задания беспилотного воздушного судна для мультиспектральной аэрофотосъемки

Рашид Курбанович Курбанов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: celeba@outlook.com;

Наталья Ивановна Захарова,
младший научный сотрудник,
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали возможность сбора мультиспектральных и RGB-данных о состоянии сельскохозяйственных культур с помощью беспилотного воздушного судна. Отметим, что использование нескольких программ для создания полетного задания приводит к неэффективному использованию ресурсов беспилотного воздушного судна. (*Цель исследования*) Рассчитать параметры аэрофотосъемки с мультиспектральной и RGB-камерами для повышения эффективности использования ресурсов беспилотного воздушного судна. (*Материалы и методы*) Изучили спецификации характеристик RGB и мультиспектральных камер, устанавливаемых на беспилотник. Использовали результаты научных исследований по расчету параметров аэрофотосъемки: продольное и поперечное перекрытие, а также скорость полета беспилотного воздушного судна. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что рассчитанные значения продольного и поперечного перекрытия, а также скорости полета беспилотного воздушного судна для RGB-камеры Zennuse X4S при совместной аэрофотосъемке с мультиспектральной камерой позволяют применять стандартные мобильные приложения для создания полетного задания. (*Выводы*) Определили, что полученные значения гарантируют создание качественных цифровых карт. Рассчитали параметры полетного задания, обеспечивающие эффективное использование ресурсов беспилотного воздушного судна, при одновременном использовании RGB-камеры Zennuse X4S и одной из шести моделей мультиспектральных камер на борту беспилотного воздушного судна.

Ключевые слова: цифровое сельское хозяйство, беспилотное воздушное судно, аэрофотосъемка, мультиспектральная камера, полетное задание, перекрытие изображений.

Для цитирования: Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Обоснование параметров полетного задания беспилотного воздушного судна для мультиспектральной аэрофотосъемки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №3. С. 33-39. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-33-39. EDN IQDDKQ.

Justifying the Parameters for an Unmanned Aircraft Flight Missions of Multispectral Aerial Photography

Rashid K. Kurbanov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: celeba@outlook.com;

Natalia I. Zakharova,
junior researcher,
e-mail: smedia@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper shows the possibility of collecting multispectral and RGB data on the crop condition using an unmanned aircraft. The use of several programs for creating a flight mission is likely to lead to the inefficient use of the unmanned aircraft resources. (*Research purpose*) To calculate the parameters of aerial photography with multispectral and RGB cameras to enable the improved efficiency of unmanned aircraft resources. (*Materials and methods*) The paper studies the specifications of RGB and multispectral cameras installed on the drone. The research uses the results of scientific research on the calculation of aerial photography parameters such as longitudinal and transverse overlap, as well as the flight speed of an unmanned aircraft. (*Results and discussion*) It is established that the calculated values of the longitudinal and transverse overlap for the Zennuse X4S RGB camera, as well as the unmanned aircraft flight speed during the joint aerial photography with a multispectral camera, make it possible to use standard mobile applications to create a flight mission. (*Conclusions*) It is determined that the obtained values guarantee the creation of high-quality digital maps. The parameters for the flight mission are calculated ensuring the efficient exploitation of the unmanned aircraft resources, using simultaneously the Zennuse X4S RGB camera and six multispectral

cameras on board the unmanned aircraft.

Keywords: digital agriculture, unmanned aerial vehicle, aerial photography, multispectral camera, flight mission, image overlap.

For citation: Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Obosnovanie parametrov poletnogo zadaniya bespilotnogo vozdušnogo sudna dlya mul'tispektral'noy aerofotosemki [Justifying the parameters for an unmanned aircraft flight missions of multispectral aerial photography]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N3. 33-39 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-33-39. EDN IQDDKQ.

Аэросъемка с беспилотного воздушного судна (БВС) считается неотъемлемой частью цифрового сельского хозяйства [1-2]. Она подразумевает сбор данных с различных оптических и лазерных приборов [3-4]. При аэросъемке сельскохозяйственных культур целесообразно использовать RGB и мультиспектральные камеры [5-6]. Для повышения эффективности использования ресурсов БВС на борт устанавливаются две камеры одновременно. При этом на рынке отсутствуют серийно выпускаемые подвесы для крепления мультиспектральных камер на БВС [7]. Агрономы и исследователи разрабатывают подобные подвесы самостоятельно (рис. 1).



Рис. 1. Подвес для мультиспектральной камеры MicaSense Altum на БВС DJI Matrice 200 v2, разработанный сотрудниками ФНАЦ ВИМ: 1 – общий вид; 2 – крепление мультиспектральной камеры; 3 – крепление датчика освещенности
Fig. 1. Gimbal for installing the MicaSense Altum multispectral camera on the DJI Matrice 200 v2 UAV, developed by the staff at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM: 1 – general view; 2 – fastening of the multispectral camera; 3 – light sensor mount

После подготовки беспилотника создают полетное задание с помощью специального программного

обеспечения для мобильных устройств, учитывающее технические характеристики БВС и параметры камеры [8]. Полеты выполняются полностью в автоматическом режиме. Наряду с полетным заданием для проведения аэрофотосъемки необходимо задать параметры для мультиспектральной камеры, подключившись к ней через Wi-Fi [9-10]. Использование нескольких программ увеличивает время на создание полетного задания, а отсутствие синхронизации между ними приводит к повторным полетам. В итоге возрастают затраты общего времени проведения аэрофотосъемки, а ресурсы БВС используются неэффективно.

При полете с двумя камерами на борту БВС необходимо устанавливать поперечное и продольное перекрытие изображений, а также скорость полета БВС таким образом, чтобы обе камеры успели создать и



Рис. 2. Исследуемые камеры: / Fig. 2. Cameras under research: 1 – DJI Zenmuse X4S; 2 – Parrot Sequoia; 3 – MicaSense RE-P; 4 – MicaSense Altum-PT; 5 – Sentera Single Sensor; 6 – Sentera Double 4k; 7 – Sentera 6X

Таблица 1		Table 1					
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕР / CAMERA SPECIFICATIONS							
Значения* Values*	DJI Zenmuse X4S	Parrot Sequoia	MicaSense RE-P	MicaSense Altum-PT	Sentera Single Sensor	Sentera Double 4k	Sentera 6X
t	3	1	0,3	0,5	0,5	0,5	5
b_y	3648	860	1088	1544	950	3000	3888
b_x	4864	1280	1456	2064	1248	4000	5184
F	8,8	4,77	5,5	4,77	4.14	5.4	7.2
SW	11,7	7,5	5,14	4,33	4,66	6,2	15,9

*t – время, затрачиваемое камерой для создания и записи изображения с одной точки съемки, с
the time taken by the camera to create and record an image from one shooting point, s;
 b_x – ширина изображения, пикс / image width, pix;
 b_y – длина изображения, пикс / image length, pix;
F – фокусное расстояние, мм / focal length, mm;
SW – ширина матрицы, мм / the matrix width, mm



записать изображения на накопитель с заданным перекрытием.

Цель исследования – рассчитать параметры аэрофотосъемки с одновременным использованием двух камер – RGB и мультиспектральной – для повышения эффективности использования заряда аккумуляторной батареи и исключения наличия артефактов на цифровой карте беспилотного воздушного судна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании использовали технические характеристики RGB-камеры DJI Zenmuse X4S и шести мультиспектральных камер: Parrot Sequoia, MicaSense RE-P, MicaSense Altum-PT, Sentera Single Sensor, Sentera Double 4k, Sentera 6X (рис. 2, табл. 1) [11-13]. Технические характеристики RGB-камеры Zenmuse X4S совпадают с RGB-камерой, встроенной в БВС DJI Phantom 4 Pro, используемое в различных исследованиях сельхозкультур [14-16].

При вычислении поперечного перекрытия использовали формулу расчета расстояния между центрами соседних изображений B_x , см:

$$B_x = \frac{b_x \cdot (100 - P_x)}{100} \cdot GSD, \quad (1)$$

где b_x – ширина изображения, пикс.;

P_x – продольное перекрытие, %;

GSD – пространственное разрешение на местности, см/пикс.

Аналогично можно определить расстояние между центрами смежных изображений B_y , см:

$$B_y = \frac{b_y \cdot (100 - P_y)}{100} \cdot GSD, \quad (2)$$

где b_y – ширина изображения, пикс.;

P_y – поперечное перекрытие, %.

Пространственное разрешение на местности (GSD) зависит от высоты полета [17-18]. Его значения рассчитывают исходя из технических характеристик камер (табл. 2).

Скорость полета V , м/с, вычисляют по формуле:

$$V = \frac{B_x}{t \cdot 100}, \quad (3)$$

где t – время, затрачиваемое камерой для создания и

записи изображения с одной точки съемки, с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При аэросъемке с двумя камерами на борту БВС в мобильном приложении по созданию полетного задания необходимо указать значение продольного и поперечного перекрытия [19-20]. Перекрытие для RGB-камеры рассчитывали с учетом спецификаций характеристик мультиспектральных камер (табл. 1 и 2).

В зависимости от высоты съемки меняется расстояние между центрами соседних изображений B_x . Рассчитав значение B_x для мультиспектральной камеры по формуле (1), можно определить значение поперечного перекрытия для RGB-камеры:

$$P_x = 100 - \frac{B_x \cdot 100}{GSD \cdot b_x}. \quad (4)$$

Получаем зависимости поперечного перекрытия RGB и мультиспектральной камеры (рис. 3).

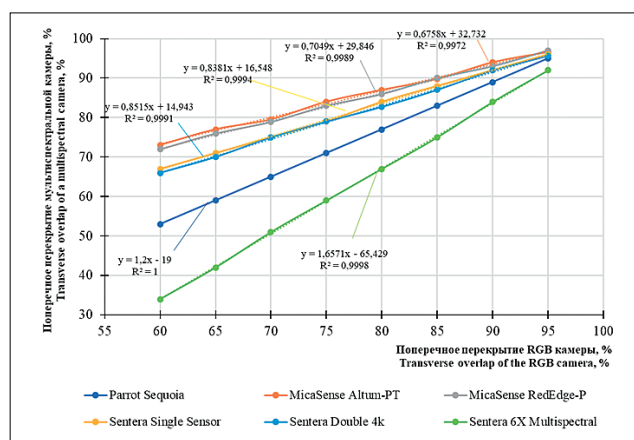


Рис. 3. Зависимость поперечного перекрытия камер RGB и мультиспектральной

Fig. 3. Dependence between the transverse overlap of RGB camera and that of multispectral camera

При совместном использовании камер DJI Zenmuse X4S + Parrot Sequoia и DJI Zenmuse X4S + Sentera 6X значения поперечного перекрытия для RGB-камеры ниже минимального, то есть меньше 70%. Это означает, что при фотограмметрической обработке данных RGB появляются артефакты на карте и ошибки

Таблица 2

Table 2

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ КАМЕР НА МЕСТНОСТИ, см/ПИКС. / SPATIAL RESOLUTION OF CAMERAS ON THE GROUND, CM/PIXEL

Модели Models	Высота полета БВС, м / UAV flight altitude, m												
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Zenmuse X4S	0,82	1,09	1,37	1,64	1,91	2,19	2,46	2,73	3,01	3,28	3,55	3,83	4,1
Parrot Sequoia	3,7	4,9	6,2	7,4	8,6	9,9	11,1	12,4	13,6	14,8	16,1	17,3	18,6
MicaSense Altum-PT	1,32	1,76	2,2	2,64	3,08	3,52	3,96	4,4	4,84	5,28	5,72	6,16	6,6
MicaSense ResEdge-P	1,93	2,57	3,21	3,85	4,49	5,13	5,78	6,42	7,06	7,7	8,34	8,99	9,63
Sentera Single Sensor	2,71	3,61	4,51	5,41	6,31	7,22	8,12	9,02	9,92	10,82	11,73	12,63	13,53
Sentera Double 4k	0,86	1,15	1,44	1,72	2,01	2,3	2,58	2,87	3,16	3,44	3,73	4,02	4,31
Sentera 6X	1,28	1,7	2,13	2,56	2,98	3,41	3,83	4,26	4,69	5,11	5,54	5,96	6,39

в проекте. При одновременном использовании камер *DJI Zenmuse X4S* и *Senterra 6X* значения поперечного перекрытия 59 и 67% недостаточны для создания цифровых карт и также приведут к появлению артефактов на них. Эти значения поперечного перекрытия необходимо установить равными 70%.

Целесообразно для мультиспектральных камер использовать поперечное перекрытие от 75 до 85%. В связи с этим значения поперечного перекрытия для RGB-камеры установлены в указанном выше диапазоне (табл. 3).

ника. При высокой скорости камера не успевает сделать снимки с нужным перекрытием, при низкой неэффективно расходуются аккумуляторные батареи. Определили скорость БВС с двумя камерами на борту в зависимости от требований перекрытия и высоты полета (табл. 5). С набором высоты полета скорость возрастает. При увеличении продольного перекрытия она снижается, а изменение поперечного перекрытия не влияет на скорость БВС. Полученные значения скорости полета БВС обеспечивают его максимально возможное движение с двумя камерами на

Таблица 3 ПОПЕРЕЧНОЕ ПЕРЕКРЫТИЕ ДЛЯ RGB-КАМЕРЫ DJI ZENMUSE X4S ПРИ ПОЛЕТЕ С МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМИ КАМЕРАМИ TRANSVERSE OVERLAP FOR DJI ZENMUSE X4S RGB CAMERA DURING THE FLIGHT WITH MULTISPECTRAL CAMERAS, %						
Необходимое перекрытие для мультиспектральной камеры Necessary overlap for a multispectral camera	Parrot Sequoia	MicaSense Altum-PT	MicaSense ResEdge-P	Senterra Single Sensor	Senterra Double 4k	Senterra 6X
75	71	83	83	79	79	70*
80	77	87	86	84	83	70*
85	83	90	90	88	87	75

*Значения поперечного перекрытия установлены на уровне 70% в соответствии с требованиями и рекомендациям программ фотограмметрической обработки.
* Transverse overlap values are set at 70% in accordance with the requirements and recommendations of photogrammetric processing programs

Таблица 4 ПРОДОЛЬНОЕ ПЕРЕКРЫТИЕ ДЛЯ RGB-КАМЕРЫ DJI ZENMUSE X4S ПРИ ПОЛЕТЕ С МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМИ КАМЕРАМИ, % LONGITUDINAL OVERLAP FOR DJI ZENMUSE X4S RGB CAMERA DURING THE FLIGHT WITH MULTISPECTRAL CAMERAS, %						
Необходимое перекрытие для мультиспектральной камеры Necessary overlap for a multispectral camera	Parrot Sequoia	MicaSense Altum-PT	MicaSense ResEdge-P	Senterra Single Sensor	Senterra Double 4k	Senterra 6X
75	74	83	83	79	79	70*
80	79	87	86	83	83	70*
85	84	90	90	88	87	75

*Значения продольного перекрытия установлены на уровне 70% в соответствии с требованиями и рекомендациям программ фотограмметрической обработки.
* Longitudinal overlap values are set at 70% in accordance with the requirements and recommendations of photogrammetric processing programs.

Рассчитав расстояния между центрами смежных изображений B_y для мультиспектральной камеры по формуле (2), найдем значение продольного перекрытия для RGB-камеры:

$$P_y = 100 - \frac{B_y \cdot 100}{GSD \cdot b_y}, \quad (5)$$

Рассчитали продольное перекрытие для RGB-камеры с учетом технических характеристик мультиспектральных камер (табл. 4). Вычисленные значения продольного перекрытия 59 и 67% не обеспечивают требуемого качества [9]. Уровень 70% – минимально необходимый для исключения артефактов и ошибок по требованиям и рекомендациям программ фотограмметрической обработки данных аэрофотосъемки.

Другим параметром, влияющим на качество аэрофотоснимков, считается скорость полета беспилот-

бору. Если скорость ниже, то использование аккумуляторной батареи неэффективно, а если выше, то происходит искажение изображений и пропуск кадров с заданным продольным перекрытием. При использовании камер *MicaSense* скорость БВС на высоте 30 м составит 1 м/с, а на высоте 150 м – 5 м/с при продольном перекрытии 85%. При мониторинге с камерами *Parrot Sequoia* и *Senterra 6X* значения поперечного и продольного перекрытий для RGB-камеры *Zenmuse X4S* ниже рекомендуемых для мультиспектральных камер (75; 80; 85%) и составляют: 71; 77; 83% и 70; 70; 75% соответственно. Это увеличивает максимально допустимую скорость БВС до 2,5 м/с на высоте 30 м и до 12,6 м/с на высоте 150 м при продольном перекрытии 75%, что повышает эффективность использования заряда аккумуляторной батареи БВС.

Таким образом, рассчитаны значения продольного и поперечного перекрытия, а также скорости по-

Таблица 5

Table 5

СКОРОСТЬ ПОЛЕТА БВС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОТЫ И ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕКРЫТИЯ, м/с
FLIGHT SPEED OF THE UAV DEPENDING ON THE ALTITUDE AND OVERLAP PARAMETERS, m/s

Модель камеры Camera model	Необходимое перекрытие для мультиспектральной камеры, % Required overlap for a multispectral camera, %	Поперечное перекрытие RGB-камеры, % Transverse overlap of RGB-camera, %	Продольное перекрытие RGB-камеры, % Longitudinal overlap of RGB-camera, %	Высота полета БВС, м UAV flight altitude, m												
				30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
				Parrot Sequoia	75	71	74	2,6	3,4	4,3	5,2	6,0	6,9	7,8	8,6	9,5
	80	77	79	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5
	85	83	84	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3	5,9	6,4	6,9	7,5	8,0
MicaSense Altum-PT	75	83	83	1,7	2,3	2,8	3,4	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	6,8	7,3	7,9	8,5
	80	87	87	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5
	85	90	90	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	5,0
MicaSense RedEdge-P	75	83	83	1,7	2,3	2,8	3,4	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	6,8	7,3	7,9	8,5
	80	86	86	1,4	1,9	2,3	2,8	3,3	3,7	4,2	4,6	5,1	5,6	6,0	6,5	7,0
	85	90	90	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	5,0
Sentera Single Sensor	75	79	79	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5
	80	84	83	1,7	2,3	2,8	3,4	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	6,8	7,3	7,9	8,5
	85	88	88	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0
Sentera Double 4k	75	79	79	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5
	80	83	83	1,7	2,3	2,8	3,4	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	6,8	7,3	7,9	8,5
	85	87	87	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5
Sentera 6X	75	70	70	2,5	3,3	4,1	4,9	5,7	6,6	7,4	8,2	9,0	9,8	10,6	11,5	12,3
	80	70	70	2,0	2,6	3,3	3,9	4,6	5,3	5,9	6,6	7,2	7,9	8,5	9,2	9,9
	85	75	75	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5

лета БВС для RGB-камеры *Zenmuse X4S* при совместной аэрофотосъемке с мультиспектральной камерой. Полученные значения позволяют оптимизировать параметры аэрофотосъемки и использовать стандартные мобильные приложения для создания полетного задания.

Выводы. Рассчитали значения поперечного и продольного перекрытия изображений, а также скорость полета БВС при одновременном применении RGB-камеры *Zenmuse X4S* и одной из шести мультиспектральных камер на борту БВС.

Рекомендуется использование мультиспектральной камеры *Parrot Sequoia* или *Sentera 6X* с камерой *Zenmuse X4S* для аэрофотосъемки. Такое сочетание увеличивает максимально допустимую скорость БВС до 12,6 м/с на высоте 150 м при минимально необхо-

димом для мультиспектральной камеры продольном перекрытии 75%.

Полученные значения гарантируют создание качественных цифровых карт. Рассчитанные максимальные показатели скорости полета БВС обеспечивают эффективное использование заряда аккумуляторной батареи БВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Pathak H., Igathinathane C., Zhang Z., Archer D., Hendrickson J. A review of unmanned aerial vehicle-based methods for plant stand count evaluation in row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. N198. 107064.
3. 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.
4. Аникеева И.А. Оценка рекомендуемых и допустимых значений показателей изобразительного качества по материалам, полученным различными аэрофотосъемочными системами для целей картографирования // *Геодезия и картография*. 2021. N 9. 30-40.
5. 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.
6. Yishan J., Zhen C., Qian C., Rong L., Mengwei L., Xin Y., Guan L. Estimation of plant height and yield based on UAV imagery in faba bean (*Vicia faba* L.). *Plant Methods*. 2022. N18(1). 26.
7. 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.
8. Курбанов Р.К., Захарова О.М., Захарова Н.И., Горшков Д.М. Программное обеспечение для мониторинга и контроля показателей селекционных процессов посевов сои // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N3(32). С. 122-132.
9. Курбанов Р.К., Костомахин М.Н., Захарова Н.И. и др. Рекомендации для легких беспилотных летательных аппаратов по сбору данных // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. N6. С. 47-53.
10. Tugay A., Zeltser R., Kolot M., Panasiuk I. Organization of supervision over construction works using UAVs and special software. *Science and Innovation*. 2019. Vol. 15. N4. 21-28.
11. Ignas D., Jurate Suziedelyte V., Jurate K. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. N10. 127-138.
12. 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.
13. López-Calderón M.J., Estrada-ávalos J., Rodríguez-Moreno V.M., Mauricio-Ruvalcaba J.E., Martínez-Sifuentes A.R., Delgado-Ramírez G. Estimation of total nitrogen content in forage maize (*Zea mays* L.) using spectral indices: Analysis by random forest. *Agriculture*. 2020 N451. 10(10). 1-15.
14. Zhou T. Atita P., Chunpeng James C., Yang H., Samuel R., Cesar Augusto M., Sen L., Zhang Z., Yu L.-X. Validation of UAV-based alfalfa biomass predictability using photogrammetry with fully automatic plot segmentation. *Scientific Reports*. 2021. N3336. 11
15. Bannari A., Selouani A., El-Basri M., Rhinane H., El-Harti A., El-Ghmari A. Multi-scale analysis of DEMs derived from unmanned aerial vehicle (UAV) in precision agriculture context. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2021. 8285-8288
16. Кузнецова И.А., Гильязов М.Р. Влияние высоты полета беспилотного летального аппарата при обработке данных в автоматизированных программных обеспечениях // *StudNet*. 2021. Т. 4. N5.
17. Юрченко В.И. Учет физических факторов при проектировании топографической аэрофотосъемки // *Геодезия и картография*. 2022. N5. 53-64.
18. Lili L., Jiangwei Q., Jiana Y., Jie L., Li L. Automatic freezing-tolerant rapeseed material recognition using UAV images and deep learning. *Plant Methods*. 2022. N18. 5.
19. Smith D.L., Abdullah Q.A., Maune D.F., Heidemann H.K. New ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Released. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2015. 81(I.4). 1073-1085.
20. 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.

REFERENCES

1. 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).
2. Pathak H., Igathinathane C., Zhang Z., Archer D., Hendrickson J. A review of unmanned aerial vehicle-based methods for plant stand count evaluation in row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. N198. 107064 (In English).
3. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovyye tekhnologii i robotizirovannyye tekhnicheskiye sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic devices in the agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. N15(4). 6-10 (In Russian).
4. Anikeeva I.A. Otsenka rekomenduemykh i dopustimyykh znacheniy pokazateley 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).
5. Akinchin A.V., Levshakov L.V., Linkov S.A., et al. Informatsionnye tekhnologii v sisteme tochnogo zemledeliya [Information technologies in precision farming]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017. N9. 16-21 (In Russian).
 6. Yishan J., Zhen C., Qian C., Rong L., Mengwei L., Xin Y., Guan L. Estimation of plant height and yield based on UAV imagery in faba bean (*Vicia faba* L.). *Plant Methods*. 2022. N18(1). 26 (In English).
 7. 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).
 8. Kurbanov R.K., Zakharova O.M., Zakharova N.I., Gorshkov D.M. Programmnoe obespechenie dlya monitoringa i kontrolya pokazateley selektsionnykh protsessov posevov soi [Software for monitoring and control of indicators for breeding processes of soybean crops]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N3(32). 122-132 (In Russian).
 9. Kurbanov R.K., Kostomakhin M.N., Zakharova N.I., et al. Rekomendatsii dlya legkikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov po sboru dannykh [Recommendations for light unmanned aerial vehicles for data collection]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2018. N6. 47-53 (In Russian).
 10. Tugay A., Zeltser R., Kolot M., Panasiuk I. Organization of supervision over construction works using UAVs and special software. *Science and Innovation*. 2019. Vol. 15. N4. 21-28 (In English).
 11. Ignas D., Jurate Suziedelyte V., Jurate K. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. N10. 127-138 (In English).
 12. 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).
 13. López-Calderón M.J., Estrada-ávalos J., Rodríguez-Moreno V.M., Mauricio-Ruvalcaba J.E., Martínez-Sifuentes A.R., Delgado-Ramírez G. Estimation of total nitrogen content in forage maize (*Zea mays* l.) using spectral indices: Analysis by random forest. *Agriculture*. 2020 N451. 10(10). 1-15 (In English).
 14. Zhou T. Atita P., Chunpeng James C., Yang H., Samuel R., Cesar Augusto M., Sen L., Zhang Z., Yu L.-X. Validation of UAV-based alfalfa biomass predictability using photogrammetry with fully automatic plot segmentation. *Scientific Reports*. 2021. N3336. 11 (In English).
 15. Bannari A., Selouani A., El-Basri M., Rhinane H., El-Harti A., El-Ghmari A. Multi-scale analysis of DEMs derived from unmanned aerial vehicle (UAV) in precision agriculture context. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2021. 8285-8288 (In English).
 16. Kuznetsova I.A., Gil'yazov M.R. Vliyaniye vysoty poleta bespilotnogo letal'nogo apparata pri obrabotke dannykh v avtomatizirovannykh programmykh obespecheniyakh [Influence of unmanned aircraft flight altitude during data processing in automated software]. *StudNet*. 2021. Vol. 4. N5 (In Russian).
 17. Yurchenko V.I. Uchet fizicheskikh faktorov pri proektirovani topograficheskoy aerofotosemki [Consideration of physical factors at planning topographic aerial photography]. *Geodeziya i kartografiya*. 2022. N5. 53-64 (In Russian).
 18. Lili L., Jiangwei Q., Jiana Y., Jie L., Li L. Automatic freezing-tolerant rapeseed material recognition using UAV images and deep learning. *Plant Methods*. 2022. N18. 5 (In English).
 19. Smith D.L., Abdullah Q.A., Maune D.F., Heidemann H.K. New ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Released. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2015. 81(14). 1073-1085 (In English).
 20. 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).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Курбанов Р.К. – научное руководство, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи;

Захарова Н.И. – расчет параметров аэрофотосъемки, составление начального варианта статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

12.05.2022

31.08.2022

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Kurbanov R.K. – scientific guidance, developing general conclusions, article proofreading.

Zakharova N.I. – calculation of aerial photography parameters, preparing the initial version of the article manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.