

## **ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

*Лариса Александровна Головина*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: lar.golowina@yandex.ru

*Антонина Сергеевна Гордиенко*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: a.s.gordienko@sgugit.ru

*Игорь Михайлович Ламков*

Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, тел. (383)201-49-96, e-mail: igor.lamkov@ya.ru

В статье рассмотрены проблемы ведения поисково-спасательных работ на заболоченных и лесных территориях. Обоснована актуальность применения беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа для поиска пострадавших. Рассмотрены основные параметры, влияющие на качество формирования изображений. Представлена методика расчета достоверности дешифрирования информации, полученной с беспилотных летательных аппаратов, выполнено обоснование их полетных характеристик. Рассчитан минимальный размер объектов, уверенно распознаваемых на изображениях.

**Ключевые слова:** беспилотная авиационная система, камера, разрешающая способность, заболоченная территория, поисково-спасательные работы

## **DEFINITION OF THE CHARACTERISTICS OF THE UNMANNED AVIATION SYSTEM WHEN CARRYING OUT SEARCH AND RESCUE OPERATIONS IN WETTED AREAS**

*Larisa A. Golovina*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: kaf.fotogram@ssga.ru

*Antonina S. Gordienko*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: a.s.gordienko@sgugit.ru

**Igor M. Lamkov**

Siberian State University of Water Transport, 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Safety Engineering, phone: (383)201-49-96, e-mail: igor.lamkov@ya.ru

The article presents the problems of conducting search and rescue operations in wetlands and forest areas. The relevance of the use of unmanned aerial vehicles of the helicopter type for the search for victims was substantiated. The main parameters affecting the quality of image formation are considered. A method for calculating the information recognized from unmanned aerial vehicles is presented, and their flight characteristics are substantiated. The minimum size of objects that can be confidently recognized in images was calculated.

**Keywords:** UAS, camera, resolution, wetland, search and rescue

### ***Введение***

Ежегодно на территории Российской Федерации в летний и осенний периоды увеличивается число пропавших людей в природной среде. Этому способствует наступление благоприятных погодных условий для сбора грибов и ягод, рыбной ловли, охоты, использования водных объектов в рекреационных целях. Массовое распространение техники, приспособленной для движения по бездорожью (квадроциклов, вездеходов, болотоходов и т.д.), позволяет человеку продвинуться в труднопроходимой местности еще дальше, за счет чего требуется больше времени и усилий для его поиска в случае происшествия.

На законодательном уровне установлено, что при поступлении обращений о пропаже людей организуется немедленное реагирование дежурных подразделений, для поисков формируется достаточная группировка сил и средств, обеспечивается их информационное взаимодействие, ведется контроль за проведением работ. В поиске и спасении людей, пропавших в природной среде, участвуют как спасательные формирования, так и сотрудники МВД, военнослужащие, волонтеры, общественные объединения.

Особой сложностью ведения поисково-спасательных работ в условиях природной среды являются действия подразделений спасателей на заболоченных территориях. Следование по болотистой территории к месту чрезвычайной ситуации связано с риском для жизни. Из-за избытка влаги некоторые болота являются непроходимыми даже для вездеходов, а спасательные плавательные средства невозможно использовать из-за густой растительности и деревьев.

Важным этапом при проведении поисково-спасательных работ является разведка зоны происшествия. На основе разведки разрабатывается план проведения спасательных работ, определяются подъездные пути к месту происшествия, способы эвакуации пострадавших. Для разведки в настоящее время широко используются беспилотные авиационные системы (БАС). К ним предъявляются вполне определенные требования: работа при любых метеоусловиях и до-

статочный диапазон тактико-технических параметров, характеристики фотографической камеры. При поисковых работах для получения информации о пострадавших важное значение уделяется любой найденной и опознанной детали – наличие троп или колеи от транспорта, потревоженное пространство чарус или зыбунов, обломки техники, сломанных веток растительности, предметов одежды (лоскуты) или мелких предметов, свидетельствующих о присутствии человека [1–5]. Поэтому требования к детализации изображений, полученных системами фото– и видеосъемки включают в себя отчетливость фиксируемой информации, отсутствие смаза изображения, оптимальный контраст для возможности распознавания мельчайших деталей.

Целью данной работы является определение оптимальных параметров БАС при ведении поисково-спасательных работ (ПСР) на заболоченных территориях.

Исходя из цели исследования можно сформулировать следующие задачи:

- определение типа беспилотного летательного аппарата;
- обоснование оптимальных характеристик съемочной камеры, которые позволят уверенно распознать объекты определенного размера;
- сформулировать рекомендации по применению БАС при ведении разведки на заболоченных территориях.

### *Методы и материалы*

Для организации и проведения ПСР, связанных с крушением летательных средств используются БАС самолетного типа, способные фиксировать информацию о значительной территории за достаточно короткое время.

Однако, при ведении поисково-спасательных работ на заболоченной и залесенной территории для запуска беспилотного летательного аппарата (БЛА) подобного типа, как правило, недостаточно места. У взлетной площадки не должны находиться объекты препятствующие взлету, посадки и поиску БЛА (реки, озера, деревья, овраги, строения, вышки и т.п.).

Кроме того на месте посадки не должно быть предметов, при приземлении на которые возможно повреждение БАС, а именно: кустов и деревьев, пней и камней, столбов и линий электропередач, зданий и сооружений, водоемов и др. В этом случае более оптимальным является использование БАС вертолетного (мультироторного) типа, хотя для них характерна невысокая продолжительность полетов (около 1 часа) и максимальная скорость до 72 км/ч.

Преимуществом является также возможность зависать над необходимой точкой местности, что особенно важно при поиске и обнаружении даже мелких следов присутствия человека.

Вертикальный режим взлета и посадки БАС вертолетного типа позволяет использовать даже небольшие открытые участки местности на залесенной, либо заболоченной территории.

В условиях природной среды для поиска пропавшего могут иметь значение любые мелкие детали (следы, личные предметы), оставленные в пути его следования. Рассмотрим основные параметры, влияющие на качество формирования изображений, получаемых с БАС вертолетного типа.

Основным требованием к видеоинформации является отчетливость деталей, включающая подробное и уверенное восприятие естественных и искусственных объектов в их статическом и динамическом состоянии. Отчетливость формирования изображений зависит от свойств воздушной среды (влияние атмосферы), лётно-съёмочных характеристик воздушного судна (высота и скорость), технических параметров съёмочной системы [6–9].

Качество воспроизведения изображения съёмочной системой, возможность отдельного восприятия мелких деталей характеризуется разрешающей способностью.

Для определения минимального размера объекта, который можно с уверенностью распознать по снимкам, сначала определяется фактическая разрешающая способность светочувствительной матрицы цифровой камеры [10–13]:

$$R_m = \frac{1}{2\Delta}, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – размер пикселя.

Размер пикселя обычно указывается в паспортных данных камеры или вычисляется по размеру строки матрицы и количеству пикселей в строке. Разрешающая способность изображения, получаемого цифровой камерой, включает разрешение объектива и светочувствительной матрицы [10–13]:

$$\frac{1}{R_{из}^2} = \frac{1}{R_m^2} + \frac{1}{R_{об}^2}, \quad (2)$$

где  $R_m$  – разрешающая способность матрицы камеры,

$R_{об}$  – разрешающая способность объектива камеры.

Как правило, производители цифровых камер стремятся к тому, чтобы разрешающая способность объектива была сопоставима с разрешающей способностью матрицы.

Перемещение летательного аппарата в воздушном пространстве, работа винтомоторной группы БАС способствует возникновению смаза изображения, который может существенно влиять на разрешающую способность изображения [10–13]:

$$R = \frac{R_{из}}{\sqrt{1 + (R_{из} \cdot \delta)^2}}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – смаз изображения, который вычисляется по формуле [10–13]:

$$\delta = \frac{W}{m}t, \quad (4)$$

где  $W$  – путевая скорость носителя,  
 $m$  – знаменатель масштаба съемки,  
 $t$  – выдержка.

Как видно из (4), влияние смаза будет меняться в зависимости от параметров и условий съемки. В данной работе расчеты выполнены с максимальной скоростью полета 54 км/час, выдержкой 1/200 с и 1/1000 с, минимальной высотой фотографирования 50 метров. При данной высоте полета можно не учитывать влияние атмосферы на разрешающую способность изображения.

На основе полученной разрешающей способности можно определить минимальный размер объектов которые будут изображены на снимках [14]:

$$S = \frac{m}{2R}. \quad (5)$$

На основе формулы вычисления вероятности дешифрирования можно определить размер уверенно дешифрируемого объекта в камеральных условиях. Вероятность дешифрирования определяется по формуле:

$$P = \exp \left[ - \left( B \frac{S}{D} \right)^2 \right]^2, \quad (6)$$

где  $D$  – размер распознаваемого объекта (длина, ширина, диагональ и т.д.);  
 $B$  – коэффициент распознавания формы простого объекта.

В работе принято, что  $B = 1,62$  (среднее значение коэффициента распознавания) [14].

Стопроцентное распознавание объектов соответствует вероятности равной 1. Удовлетворительным считается результат соответствующий вероятности 0,75.

Таким образом, размер уверенно дешифрируемого камерально объекта (с вероятностью 75 %) можно определить по формуле:

$$D = 3,057 \cdot S. \quad (7)$$

### ***Результаты***

Характеристики беспилотных летательных аппаратов, подходящих для целей ведения поисково-спасательных работ на заболоченной и залесенной территории, представлены в табл. 1 [15–17].

Таблица 1

## Характеристики БЛА

| БЛА               | Характеристики           |                                       |  |                                      |                             |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|
|                   | Продолжительность полета | Максимально допустимая скорость ветра | Максимальная скорость полета                   | Максимальная масса полезной нагрузки | Диапазон рабочих температур |
| Geoscan 401 PRO   | до 1 часа                | до 10 м/с                             | до 50 км/час                                   | 2 кг                                 | от -20 до +40 °С            |
| Geoscan Gemini    | до 40 мин                | до 10 м/с                             | до 15 м/с                                      | -                                    | от -15 до +40 °С            |
| Supercam X6M2     | до 55 мин                | до 15 м/с                             | до 60 км/ч                                     | -                                    | от -40°С до +45°С           |
| DJI Phantom 4 pro | около 30 мин             | 10 м/с                                | до 50 – 72 км/ч в зависимости от режима съемки | -                                    | от 0 до +40 °С              |
| DJI Matrice 300   | 55 мин                   | 15 м/с                                | до 17 – 23 м/с в зависимости от режима съемки  | 2,7 кг                               | от -20°С до +50°С           |
| DJI Mavic 2 pro   | около 30 мин             | 29–38 км/ч                            | до 72 км/ч                                     | -                                    | от -10° до +40°С            |

Характеристики камер используемых для расчетов в рамках данного исследования представлены в табл. 2 [18].

Таблица 2

## Технические характеристики цифровых камер

| Камера        | Характеристики      |                      |                   |                    |               |                         |                      |
|---------------|---------------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------|-------------------------|----------------------|
|               | Длина матрицы, пикс | Ширина матрицы, пикс | Длина матрицы, мм | Ширина матрицы, мм | 1 пиксель, мм | Фокусное расстояние, мм | Диапазон выдержек, с |
| Sony NEX-5    | 4592                | 3056                 | 23,5              | 15,6               | 0,0051        | 16, 35, 50              | 1/4000–30            |
| Sony α6000    | 6000                | 4000                 | 23,5              | 15,6               | 0,0039        | 16, 35, 50              | 1/4000–30            |
| Sony RX1      | 6000                | 4000                 | 36,0              | 24,0               | 0,006         | 35                      | 1/4000–30            |
| Sony UMC-R10C | 5456                | 3632                 | 23,2              | 15,4               | 0,0042        | 20                      | 1/4000–30            |

Результаты расчетов разрешающей способности изображений, получаемых съемочными камерами, минимальный размер объектов и размер уверенно дешифрируемого объекта по полученным данным представлены в табл. 3.

Расчет размера объекта, уверенно дешифрируемого по снимкам,  
полученным разными камерами

| Камера        | Фокусное расстояние, мм | Смаз, мм       |                 | Разрешающая способность с учетом смаза, мм <sup>-1</sup> |                 | Минимальный размер объектов, мм |                 | Размер уверенно дешифрируемого объекта, мм |                 |
|---------------|-------------------------|----------------|-----------------|--|-----------------|---------------------------------|-----------------|--|-----------------|
|               |                         | Выдержка 1/200 | Выдержка 1/1000 | Выдержка 1/200   | Выдержка 1/1000 | Выдержка 1/200                  | Выдержка 1/1000 | Выдержка 1/200                             | Выдержка 1/1000 |
| Sony NEX-5    | 16                      | 0,02           | 0,005           | 35,71  | 65,78           | 43,75                           | 23,75           | 133,88                                     | 72,69           |
| Sony NEX-5    | 35                      | 0,05           | 0,011           | 18,37  | 56,05           | 38,89                           | 12,74           | 119,00                                     | 38,99           |
| Sony NEX-5    | 50                      | 0,07           | 0,015           | 13,09  | 48,05           | 38,19                           | 10,41           | 116,85                                     | 31,84           |
| Sony α6000    | 16                      | 0,02           | 0,005           | 37,86  | 83,13           | 41,27                           | 18,79           | 126,29                                     | 57,52           |
| Sony α6000    | 35                      | 0,05           | 0,011           | 18,64  | 65,66           | 38,32                           | 10,88           | 117,26                                     | 33,29           |
| Sony α6000    | 50                      | 0,07           | 0,015           | 13,19  | 53,71           | 37,90                           | 9,31            | 115,98                                     | 28,49           |
| Sony UMC-R10C | 20                      | 0,03           | 0,006           | 30,99  | 75,14           | 40,33                           | 16,64           | 123,42                                     | 50,91           |
| Sony RX1      | 35                      | 0,05           | 0,011           | 18,12  | 50,11           | 39,41                           | 14,25           | 120,59                                     | 43,62           |

### Обсуждение

Из табл. 4 видно, что даже при выдержке 1/200 по снимкам, полученным с камер, участвующих в расчетах, можно распознать достаточно мелкие объекты (до 11–13 см), наличие которых поможет при ведении поисково-спасательных работ. Например, на изображениях может просматриваться колея квадроцикла (12,5 см), мелкие фрагменты пластиковой посуды, телефоны и смартфоны, пачки сигарет и т.п. Кроме того, в расчетах использовалась максимальная скорость 54 км/час, а БЛА, как правило, осуществляют полет на меньших скоростях, а соответственно и смаз изображения будет меньше.

### Заключение

Использование беспилотных летательных аппаратов при ведении поисково-спасательных работ в сложных условиях природной среды позволит оперативно и эффективно планировать, а также осуществлять спасательные операции.

На залесенных территориях, при отсутствии открытых участков местности, оптимально использовать беспилотный летательный аппарат мультироторного типа, полет осуществлять на минимальной высоте 50 метров.

Расчетные значения разрешающей способности снимков, полученные в ходе данного исследования, являются приближенными, так как в системе видеосъемки возможна потеря разрешения при сжатии снимков.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Особенности применения беспилотных воздушных судов при проведении аварийно-спасательных работ Пупынин В. И. Кобка Е. О. Современные проблемы создания и эксплуа-

тации транспортно-технологических машин и комплексов в системе МЧС России: сборник трудов секции № 10 XXIX Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь», 21 марта 2019 года. – ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. – 2019. – С. 19-25.

2. Методические рекомендации по применению беспилотных авиационных систем ближнего действия малого класса в интересах МЧС России от 25.01.2016 № 2-4-71-4-9. – М.: 2016. – 97 с.

3. Методические рекомендации по применению беспилотных летательных аппаратов в целях оперативного обнаружения и прогноза опасных природных явлений и обеспечения мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС природного и техногенного характера от 13.07.2016 № 2-4-71-39-28. – М.: 2016. – 98 с.

4. Отчет о НИР Разработка способов повышения эффективности применения беспилотных авиационных систем при ликвидации чрезвычайных ситуаций. – Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2017. – 115 с.

5. Отчет о составной части НИР Анализ международного опыта применения беспилотных авиационных систем при ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров. – Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2018. – 89 с.

6. Арбузов, С. А. Эталонный пространственный тест-объект СГУГиТ для калибровки цифровых неметрических камер / С. А. Арбузов, В. Н. Никитин, В. В. Дедкова // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2020. – Т. 2. – С. 41-45. – DOI 10.33764/2687-041X-2020-2-41-45.

7. Арбузов, С. А. Использование цифровых камер для мультиспектральной съемки с беспилотного воздушного судна / С. А. Арбузов, Е. В. Грицкевич // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – Т. 2. – № 5. – С. 62-67.

8. Костюк, А. С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА / А. С. Костюк // Гео-Сибирь. – 2010. – Т. 4. – № 1. – С. 83-87.

9. Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета / И. М. Ламков, А. Ю. Чермошенцев, С. А. Арбузов, А. П. Гук // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2016. – № 4(36). – С. 200-209.

10. Савиных В. П., Кучко А. С., Стеценко А. Ф. Аэрокосмическая фотосъемка. - М.: Геодезиздат, 1997. – 320 с.

11. Кучко, А.С. Аэрофотография и специальные аэрофотографические исследования / А.С. Кучко. – М. : Недра, 1988. – 235 с.

12. Лаврова, Н.П. Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование / Н.П. Лаврова, А.Ф. Стеценко. – М. : Недра, 1981. – 296 с. 6.

13. Щербаков, Е.Я. Расчет и конструирование аэрофотоаппаратов / Е.Я. Щербаков – М. : Машиностроение, 1979. – 464 с.

14. Живичин, А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М. : Недра, 1980. – 254 с.

15. Официальный сайт компании «Геоскан» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geoscan.aero/ru> (дата обращения: 04.05.2021).

16. Официальный сайт компании «Беспилотные системы» [Электронный ресурс]. URL: <https://supercam.aero/catalog/supercam-x6m2> (дата обращения: 04.05.2021).

17. Официальный сайт компании «DJI» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dji.com/ru/phantom-4-pro> (дата обращения: 04.05.2021).

18. Официальный сайт компании «Sony» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sony.ru/> (дата обращения: 04.05.2021).