

## Практика применения перспективных беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и аэрофотосъемки

А.В. Студеникин<sup>1</sup>, В.А. Михалин<sup>1</sup>, Р.В. Иванов<sup>2</sup>, С.И. Магаршак<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «Лимб»

199004, Санкт-Петербург, В.О., 5-я линия, 42

E-mails: standvic@gmail.com, mik-vad@mail.ru, clip@limb.spb.ru

<sup>2</sup> ООО СТЦ

Санкт-Петербург, Гжатская, 21, корп. 2

E-mail: roman\_spb@mail.ru

Статья посвящена вопросам применения беспилотных летательных аппаратов в дистанционном зондировании Земли. Приведены характеристики одной из самых перспективных на сегодняшний день беспилотной авиационной системы «Орлан». На примере конкретных проектов продемонстрирована возможность применения беспилотных летательных аппаратов в аэрофотосъемке. Проведен анализ фотограмметрической обработки съемки.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, беспилотные летательные системы, мониторинг, аэрофотосъемка, фотограмметрическая обработка, видеосъемка, тепловизионная съемка.

### Введение

В качестве систем дистанционного зондирования Земли беспилотные авиационные системы (БАС), включая беспилотные летательные аппараты (БПЛА), используются относительно недавно и пока находятся на стадии доработки их технологических характеристик до значений, полностью удовлетворяющих требованиям данных ДЗЗ. Данные, полученные БАС, применяются аналогично данным, полученным спутниковой и традиционной аэрофотосъемками.

БАС смогли занять свое положение среди других систем ДЗЗ благодаря вполне определенным отличительным свойствам. В отличие от данных космической съемки данные с БПЛА имеют более высокое разрешение, более высокую степень оперативности их получения, качественно меньше зависят от облачности. Традиционная аэрофотосъемка при тех же преимуществах перед космической обладает недостатком по отношению к съемке с помощью БПЛА — более высокая стоимость выходной продукции, обусловленная высокими затратами на обслуживание и эксплуатацию пилотируемых летательных аппаратов.

Недостатки БПЛА являются предметом обсуждения среди специалистов и в настоящее время их можно выделить в две группы: технические и нормативно-правовые. К первым относятся недостаточно отлаженная система управления, повышенная аварийность, ограниченный вес полезной нагрузки. Ко вторым — отсутствие четкой законодательной базы интеграции БПЛА в единое воздушное пространство.

Тем не менее, прослеживается тенденция, показывающая в ряде случаев предпочтение изыскательских, экологических, картографических и других компаний в использовании БПЛА другим системам ДЗЗ для мониторинга и аэрофотосъемки. Благодаря наличию такой заинтересованности есть основания полагать, что со временем будут решаться технические и законодательные проблемы в более широком применении БАС.

Мониторинг и аэрофотосъемка являются принципиально разными работами ввиду качественно разных требований к точности получаемых данных. Кроме того, каждая из этих работ предъявляет различные требования к техническим характеристикам БАС — оборудованию, программному обеспечению, квалификации персонала. В статье представлены данные о технических характеристиках одной из самых удачных на сегодняшний день и проявивших хорошие качества на практике беспилотной авиационной системе — «Орлан» (ООО СТЦ, Санкт-Петербург). По мнению авторов статьи, получены заслуживающие вни-

мание специалистов результаты использования этой системы на примере БПЛА «Орлан-10» в изыскательских работах ЗАО «Лимб» (Санкт-Петербург), в том числе — анализ качества полученных данных ДЗЗ с фотограмметрической точки зрения.

### Беспилотная авиационная система «Орлан»

БАС «Орлан» первоначально были предназначены для контроля и наблюдения с воздуха объектов и техники на удаленных участках местности. В 2008 г. БПЛА «Орлан» успешно прошли испытания суровыми боевыми условиями во время операции по принуждению Грузии к миру, показав высокую надежность. Внешний вид БПЛА «Орлан-10» показан на рис. 1.

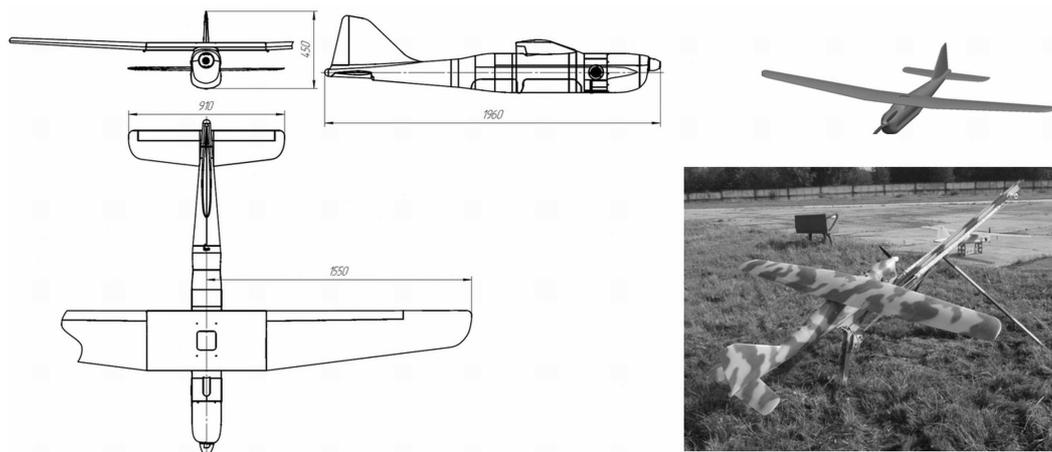


Рис. 1. Внешний вид БПЛА «Орлан-10»

Съемка осуществляется с помощью аппаратуры полезной нагрузки (ПН) размещаемой на БПЛА. Наземная часть реализована в виде компьютеризированного комплекса, обеспечивающего возможность управления БПЛА и ПН на его борту, обменом информацией в режиме реального времени. Система является мобильной, транспортируется на легковом автомобиле размером с микроавтобус и эксплуатируется экипажем из 2–3 человек.

Управление запуском и полетом БПЛА осуществляется автоматизировано и требует минимального участия операторов. В течение полета БПЛА производится передача данных телеметрии и информации с ПН с привязкой к текущим координатам БПЛА на компьютеры наземного пункта управления (НПУ), которые могут быть объединены в локальную сеть с возможностью работы удаленных операторов через сеть Интернет по защищенному подключению. Полученные данные сохраняются, обрабатываются и визуализируются на НПУ.

Планер выполнен по классической аэродинамической схеме с верхним расположением крыла и тянущим винтом, обладающей лучшим аэродинамическим качеством среди применяемых для БПЛА самолетных схем. Силовые установки выполнены на базе двигателей внутреннего сгорания и оборудованы автономными стартер-генераторами, обеспечивающими возможность запуска двигателя в полете и топливомерами, информирующими об остатке топлива в баке. Старт производится с катапульты с резиновым амортизатором. Основные характеристики БПЛА «Орлан-10» приведены в таблице 1.

Система спасения имеет три уровня:

- основной парашют для выполнения посадки, минимальная высота срабатывания 30 метров;
- пневматический посадочный буфер, надуваемый при выпуске парашюта и смягчающий удар БЛА о землю;
- разделение планера на элементы без их разрушения для гашения энергии удара и сохранения целостности бортового оборудования.

Таблица 1. Основные характеристики БПЛА «Орлан-10»

Взлетная масса, кг	18	Максимальная продолжительность полета, ч	10
Масса полезной нагрузки, кг	до 3	Максимальная дальность применения комплекса, км	150
Двигатель	ДВС (бензин А-95)	Максимальная высота полета над уровнем моря, м	5000
Способ старта	с разборной катапульты	Максимальная допустимая скорость ветра на старте, м/с	10
Способ посадки	на парашюте	Диапазон рабочих температур у поверхности земли, °С	от -30 до +50
Воздушная скорость при АФС, км/ч	95...120	Минимальные размеры взлетной площадки, м	200×200

В качестве ПН могут быть установлены курсовые (стандартного или HD разрешения с передачей видео онлайн), плановые (многокамерные системы или HD с записью на борту), поворотные, гиростабилизированные (D-STAMP, U-STAMP), тепловизионные (Tau 320, Tau 640) камеры, а также фотоаппараты (Canon EOS 500D-50D-5D).

### Опыт применения БАС «Орлан»

Основное назначение системы «Орлан» — мониторинг наземных объектов. На рис. 2 в обобщенном виде приведена архитектура построения комплексов мониторинга на основе БАС «Орлан».

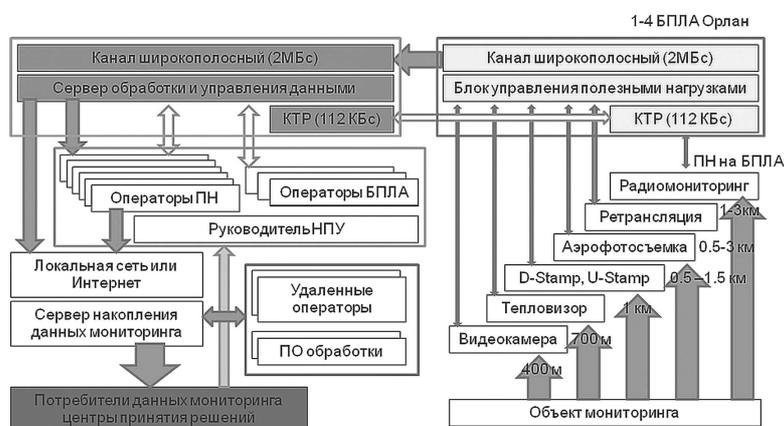


Рис. 2. Архитектура построения комплексов мониторинга на основе БАС «Орлан»

В случае, если мониторинг осуществляется на основе информации, поступающей с борта БПЛА с неподвижных видеокамер и тепловизоров, видеоизображение подвергается обработке и регистрации посредством покадровой записи. На всей площади кадров осуществляется определение координат объектов, с возможностью просмотра и возврата без остановки записи. Все кадры сопровождаются телеметрическими данными для возможности постобработки (рис. 3). Предусмотрена возможность целеуказания и слежения за целью. При движении БПЛА методом выделения ключевых точек осуществляется определение нового положения цели на изображении. Исходя из нового положения цели на изображении и новых данных телеметрии географическое положение цели пересчитывается и усредняется с предыдущими полученными данными.



Рис. 3. Пример кадра, полученного видеокамерой с борта БПЛА

Система обработки тепловизионных цифровых изображений и привязки к координатам позволяет проводить оперативный мониторинг протяженных и площадных объектов с возможностью сшивки тепловизионных планов с высоким разрешением.

Если использование БАС в мониторинге является вполне распространенной практикой, то аэрофотосъемка посредством БПЛА представляет серьезные трудности в первую очередь из-за жестких требований к точности получаемого выходного продукта. Получение результатов съемки для карт масштабов 1:500–1:5000 представляет особый интерес, поэтому остановимся на этом вопросе более подробно.

Описание фотограмметрической обработки приведем на основе реальных проектов, выполненных осенью 2011 г. — съемки скоростной автодороги Москва — Санкт-Петербург (участок Тосно-Пушкин) и ЛенГАЭС Лудейнопольского района Ленинградской области.

Из-за проблем режимности объекта в районе рассматриваемого участка дороги было наложено ограничение на высоту выполняемой аэросъемки, которая составила 350 м. Размер пикселя на местности составил приблизительно 5 см.

Надо заметить, что специфика обработки данных с БПЛА мало чем отличается от обработки традиционной аэрофотосъемки. В качестве программного продукта использовался программный комплекс ЦФС «Талка», разработанный 22 лабораторией ИПУ РАН.

Перед фотограмметристом была поставлена задача получить кондиционные маршрутные и межмаршрутные перекрытия и провести строгую фотограмметрическую обработку данных, когда снимки в одном маршруте имеют тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов при площадной съемке составляло не менее 20 %. Для того чтобы такие перекрытия выдерживались при планировании маршрутов были заданы проектные перекрытия 80 и 40 %.

Цифровая камера предварительно была откалибрована. Были получены точное фокусное расстояние, главная точка, дисторсия. После исправления снимков за дисторсию был составлен проект и маршрутная схема.

Проект с участком автодороги был обработан в полуавтоматическом режиме. Была использована программная возможность автоматической расстановки связующих точек, когда в проекте уже существуют по три общих связующих точки в маршрутных и межмаршрутных стереопарах. На стадии взаимного ориентирования все одиночные и ошибочно расставленные точки отбраковываются (удаляются). Максимальное значение параллакса при взаимном ориентировании стереопары составляет ориентировочно 1 пикс.

После измерения связующих и опорных точек была проведена процедура уравнивания.

В уравнивании принимало участие 7 опознаков, которые были определены полевым способом с помощью GPS оборудования. Опознаки были определены с точностью 2...3 см в плане, 5...6 см по высоте. Получены средние погрешности по определяемым точкам (м):  $D_{xyz} = 0,09$ ;  $D_{xy} = 0,09$ ;  $D_x = 0,06$ ;  $D_y = 0,06$ ;  $D_z = 0,015$ . Средние погрешности по опорным точкам (м):  $d_{xyz} = 0,09$ ;  $d_{xy} = 0,06$ ;  $d_x = 0,053$ ;  $d_y = 0,029$ ;  $d_z = 0,067$ .

Получение данных телеметрии значительно упрощает обработку и позволяет выполнять некоторые этапы обработки в автоматическом режиме (рис. 4).

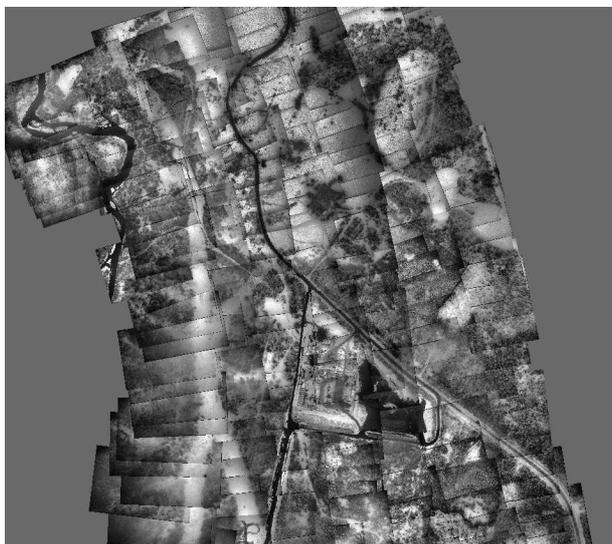


Рис. 4. Получение накидного монтажа на объекте ЛенГАЭС по данным телеметрии

Безусловно, полученный положительный результат еще не означает отсутствие проблем в применении БПЛА для аэрофотосъемки. Однако практические наработки использования БАС позволяют выявлять и во взаимодействии с производителем устранять недостатки этих систем. БПЛА хорошо себя зарекомендовали именно там, где применение традиционных авиационных комплексов нерентабельно. К таким случаям можно отнести съемку небольших объектов и территорий с небольшой площадью, а также протяженных объектов, в основном коммуникаций.

## The practice of advanced unmanned aerial vehicles for monitoring and aerial photography

A.V. Studenikin <sup>1</sup>, V.A. Mikhailin <sup>1</sup>, R.V. Ivanov <sup>2</sup>, S.I. Magarshak <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Closed Joint-Stock Company "Limb"  
Saint-Petersburg, V.O., 5<sup>th</sup> line, 42b

E-mails: standvic@gmail.com, mik-vad@mail.ru, clip@limb.spb.ru

<sup>2</sup> Limited Liability Company "Special Technology Center" JSC  
Saint-Petersburg, Gzhatskaya, b. 21/2

E-mail: roman\_spb@mail.ru

The article deals with the application of the unmanned aerial vehicles in remote sensing. The properties of the one of the most promising unmanned aircraft system, an "Orlan", are presented. The specific projects have demonstrated the ability to apply the unmanned aerial vehicles in aerial photography. Photogrammetric analysis of the sample aerial photography was made.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, unmanned aircraft systems, monitoring, aerial photography, photogrammetric treatment, video, thermal sensing.