

В последние годы появилось большое количество публикаций по использованию для решения топографических задач беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), или беспилотных авиационных систем (БАС). Такой интерес в немалой степени вызван простотой их эксплуатации, экономичностью, относительно невысокой стоимостью, оперативностью и т.д. Перечисленные качества и наличие эффективных программных средств автоматической обработки материалов аэрофотосъемки (включая выбор необходимых точек) открывают возможности широкого использования программно-технических средств беспилотной авиации в практике инженерно-геодезических изысканий.

В этом номере обзором технических средств беспилотной авиации мы открываем серию публикаций о возможностях БПЛА и опыте их использования при полевых и камеральных работах.

Д.П. ИНОЗЕМЦЕВ, руководитель проекта ООО «ПЛАЗ»,
г. Санкт-Петербург

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Часть 1. Обзор технических средств

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Беспилотные летательные аппараты появились в связи с необходимостью эффективного решения военных задач — тактической разведки, доставки к месту назначения боевого оружия (бомб, торпед и др.), управления боевыми действиями и пр. И не случайно первым их применением считается доставка австрийскими войсками бомб к осажденной Венеции с помощью воздушных шаров в 1849 году [1]. Мощным импульсом к развитию БПЛА послужило появление радиотелеграфа и авиации, что позволило существенно улучшить их автономность и управляемость.

Так, в 1898 году Никола Тесла работал и продемонстрировал миниатюрное радиоуправляемое судно, а уже в 1910 году американский военный инженер Чарльз Кеттеринг предложил, построил и испытал несколько моделей беспилотных летательных аппаратов [2]. В 1933 году в Великобритании разработан первый БПЛА

многократного использования, а созданная на его основе радиоуправляемая мишень использовалась в королевском флоте Великобритании до 1943 года.

На несколько десятков лет опередили свое время исследования немецких ученых, давших миру в 1940-х годах реактивный двигатель и крылатую ракету «Фау-1» как первый применявшийся в реальных боевых действиях беспилотный летательный аппарат.

В СССР в 1930–1940 годы авиаконструктором Никитиным был разработан торпедоносец-планер типа «летающее крыло», а к началу 40-х был подготовлен проект беспилотной летающей торпеды с дальностью полета от 100 километров и выше, однако в реальные конструкции эти разработки не превратились.

После окончания Великой Отечественной войны интерес к БПЛА существенно возрос, а начиная с 1960-х годов отмечается их широкое внедре-

ние для решения задач невоенного характера.

В целом историю БПЛА можно условно разделить на четыре временных этапа [3]:

1. 1849 год–начало XX века — попытки и экспериментальные опыты по созданию БПЛА, формирование теоретических основ аэродинамики, теории полета и расчета самолета в работах ученых.
2. Начало XX века — 1945 год — разработка БПЛА военного назначения (самолетов-снарядов с небольшой дальностью и продолжительностью полета).
3. 1945–1960 годы — период расширения классификации БПЛА по назначению и создание их преимущественно для разведывательных операций.
4. 1960 годы — наши дни — расширение классификации и усовершенствование БПЛА, начало массового использования для решения задач невоенного характера.

КЛАССИФИКАЦИЯ БПЛА

Таблица 1

Общеизвестно, что аэрофотосъемка, как вид дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), — это наиболее производительный метод сбора пространственной информации, основа для создания топографических планов и карт, создания трехмерных моделей рельефа и местности. Аэрофотосъемка выполняется как с пилотируемых летательных аппаратов — самолетов, дирижаблей и аэростатов, так и с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Беспилотные летательные аппараты, как и пилотируемые, бывают самолетного, а также вертолетного типа (вертолеты и мультикоптеры — летательные аппараты с четырьмя и более роторами с несущими винтами).

В настоящее время в России не существует общепринятой классификации БПЛА самолетного типа. *Missiles.Ru* совместно с порталом *UAV.RU* предлагает современную классификацию БПЛА самолетного типа [4], разработанную на основе подходов организации *UAV International*, но с учетом специфики и ситуации именно отечественного рынка (классы) (табл. 1):

Микро- и мини-БПЛА ближнего радиуса действия. Класс миниатюрных сверхлегких и легких аппаратов и комплексов на их основе с взлетной массой до 5 килограммов начал появляться в России относительно недавно, но уже довольно широко представлен. Такие БПЛА предназначены для индивидуального оперативного использования на коротких дальностях на удалении до 25–40 километров. Они просты в эксплуатации и транспортировке, выполняются складными и позиционируются как «носимые», запуск осуществляется с помощью катапульты или с руки. Сюда относятся: *Geoscan 101*, *ZALA 421-11*, *ZALA 421-08*, *ZALA 421-12*, *T23 «Элерон»*, *T25 «Элерон-3»*, «Гамаюн-3», «Иркут-2М», «Истра-10», «БРАТ», «Локоп», «Инспектор 101», «Инспектор 201», «Инспектор 301» и др.

Легкие БПЛА малого радиуса действия. К этому классу относятся несколько более крупные аппараты — взлетной массой от 5 до 50 килограммов. Дальность их действия — в пределах 10–120 километров. Среди них: *Geoscan 300*, «ГранТ», *ZALA 421-04*, *Орлан-10*, *T10*, «Эле-

Класс БПЛА	Взлетная масса, кг	Дальность действия, км
Микро- и мини-БПЛА ближнего радиуса действия	5	25–40
Легкие БПЛА малого радиуса действия	5–50	10–120
Легкие БПЛА среднего радиуса действия	50–100	70–150 (250)
Средние БПЛА	100–300	150–1000
Среднетяжелые БПЛА	300–500	70–300
Тяжелые БПЛА среднего радиуса действия	>500	70–300
Тяжелые БПЛА большой продолжительности полета	>1500	1500
Беспилотные боевые самолеты (ББС)	500.	~1500

рон-10», «Гамаюн-10», «Иркут-10», *T92 «Лотос»*, *T90 (T90-11)*, *T21*, *T24*, «Типчак» БПЛА-05, БПЛА-07, БПЛА-08.

Легкие БПЛА среднего радиуса действия. Ряд отечественных образцов можно отнести к этому классу БПЛА. Их масса варьируется в пределах 50–100 килограммов. К ним относятся: *T92M «Чибис»*, *ZALA 421-09*, «Дозор-2», «Дозор-4», «Пчела-1Т».

Средние БПЛА. Взлетная масса средних БПЛА лежит в диапазоне от 100 до 300 килограммов. Они предназначены для применения на дальностях 150–1000 километров. В этом классе: *M850 «Астра»*, «Бином», *Ла-225 «Комар»*, *T04*, *E22M «Берта»*, «Беркут», «Иркут-200».

Среднетяжелые БПЛА. Этот класс имеют схожую с БПЛА предыдущего класса дальность применения, но обладают несколько большей взлетной массой — от 300 до 500 килограммов. К этому классу следует отнести: «Колibri», «Данэм», «Дань-Барук», «Аист» («Юлия»), «Дозор-3».

Тяжелые БПЛА среднего радиуса действия. Данный класс включает БПЛА полетной массой от 500 и более килограммов, предназначены для применения на средних дальностях 70–300 километров. В классе тяжелых следующие: *Ty-243 «Рейс-Д»*, *Ty-300*, «Иркут-850», «Нарт» (А-03).

Тяжелые БПЛА большой продолжительности полета. Достаточно востребованная за рубежом категория беспилотных аппаратов, к которой относятся американские БПЛА *Predator*, *Reaper*, *Global Hawk*, израильские *Heron*, *Heron TP*. В России образцы практически отсутствуют: «Зонд-3М», «Зонд-2», «Зонд-1», беспилотные авиационные системы Сухого («БасС»), в рамках которой создается

роботизированный авиационный комплекс (РАК).

Беспилотные боевые самолеты (ББС). В настоящее время в мире активно ведутся работы по созданию перспективных БПЛА, имеющих возможность нести на борту оружие и предназначенных для ударов по наземным и надводным стационарным и подвижным целям в условиях сильного противодействия сил ПВО противника. Они характеризуются дальностью действия около 1500 километров и массой от 1500 килограммов. На сегодняшний день в России в классе ББС представлено два проекта: «Прорыв-У», «Скат» [4].

На практике для аэрофотосъемки, как правило, применяются БПЛА весом до 10–15 килограммов (микро-, мини-БПЛА и легкие БПЛА). Это связано с тем, что при увеличении взлетного веса БПЛА растет сложность его разработки и, соответственно, стоимость, но снижается надежность и безопасность эксплуатации. Дело в том, что при посадке БПЛА выделяется энергия $E = mv^2 / 2$, а чем больше масса аппарата m , тем больше его посадочная скорость v , то есть выделяемая при посадке энергия очень быстро растет с ростом массы. А эта энергия может повредить как сам БПЛА, так и находящееся на земле имущество.

Беспилотный вертолет и мультикоптер лишены этого недостатка. Теоретически, такой аппарат можно посадить со сколь угодно малой скоростью сближения с Землей. Однако беспилотные вертолеты слишком дороги, а коптеры пока не способны летать на большие расстояния, и применяются только для съемки локальных объектов (отдельных зданий и сооружений).



Рис. 1. БПЛА Mavinci SIRIUS [5]



Рис. 2. БПЛА Geoscan 101 [6]

ПРЕИМУЩЕСТВА БПЛА

Превосходством БПЛА перед пилотируемыми воздушными судами является, прежде всего, стоимость производства работ, а также значительное уменьшение количества регламентных операций. Само отсутствие человека на борту самолета значительно упрощает подготовительные мероприятия для проведения аэрофотосъемочных работ.

Во-первых, не нужен аэродром, даже самый примитивный. Беспилотные летательные аппараты запускаются или с руки, или с помощью специального взлетного устройства — катапульты.

Во-вторых, особенно при использовании электрической двигательной схемы, отсутствует необходимость в квалифицированной технической помощи для обслуживания летательного аппарата, не так сложны мероприятия по обеспечению безопасности на объекте работ.

В-третьих, отсутствует или намного увеличен межрегламентный период эксплуатации БПЛА по сравнению с пилотируемым воздушным судном. Данное обстоятельство имеет большое значение при эксплуатации аэрофотосъемочного комплекса в удаленных районах нашей страны. Как правило, полевой сезон аэрофотосъемочных работ короток, каждый погожий день необходимо использовать для производства съемки.

УСТРОЙСТВО БПЛА

В настоящее время сложились две основные схемы компоновки БПЛА: классическая (по схеме «фюзеляж+крылья+хвост»), к которой относится, например БПЛА «Орлан-10», Mavinci SIRIUS (рис. 1) и др., и «летающее крыло», к которой отно-

сятся Geoscan 101 (рис. 2), Gatewing X100 и др.

Основными частями беспилотного аэрофотосъемочного комплекса являются: корпус, двигатель, бортовая система управления (автопилот), наземная система управления (НСУ) и аэрофотосъемочное оборудование.

Корпус БПЛА изготавливают из легкого пластика (например, углеклестика или кевлара), чтобы защитить дорогостоящую фотоаппаратуру и средства управления и навигации, а его крылья — из пластика или экструдированного пенополистирола (EPP). Этот материал легок, достаточно прочен и не ломается при ударе. Деформированную деталь из EPP зачастую можно восстановить подручными средствами.

Легкий БПЛА с посадкой на парашюте может выдержать несколько сотен полетов без ремонта, который, как правило, включает замену крыльев, элементов фюзеляжа и др. Производители стараются удешевить части корпуса, подверженные износу, чтобы расходы пользователя на поддержание БПЛА в рабочем состоянии были минимальными.

Надо отметить, что наиболее дорогостоящие элементы аэрофотосъемочного комплекса, наземная система управления, авионика, программное обеспечение, — вообще не подвержены износу.

Силовая установка БПЛА может быть бензиновой или электрической. Причем, бензиновый двигатель обеспечивает намного более продолжительный полет, так как в бензине, в расчете на килограмм, запасено в 10–15 раз больше энергии, чем можно сохранить в самом лучшем аккумуляторе. Однако такая силовая установка сложна, менее надежна и

требует значительного времени для подготовки БПЛА к старту. Кроме того, беспилотный летательный аппарат с бензиновым двигателем крайне сложно перевозить к месту работ на самолете. Наконец, он требует от оператора высокой квалификации. Поэтому бензиновый БПЛА имеет смысл применять только в тех случаях, когда необходима очень большая продолжительность полета — для непрерывного мониторинга, для обследования особо удаленных объектов.

Электрическая двигательная установка, напротив, очень нетребовательна к уровню квалификации обслуживающего персонала. Современные аккумуляторные батареи могут обеспечить длительность непрерывного полета свыше четырех часов. Обслуживание электрического двигателя совсем несложно. Преимущественно это только защита от влаги и грязи, а также проверка напряжения бортовой сети, что осуществляется с наземной системы управления. Зарядка аккумуляторов производится от бортовой сети сопровождающего автомобиля или от автономного электрогенератора. Бесколлекторный электрический двигатель БПЛА практически не изнашивается.

Автопилот — с инерциальной системой (рис. 3) — наиболее важный элемент управления БПЛА.

Автопилот весит всего 20–30 граммов. Но это очень сложное изделие. В автопилоте, кроме мощного процессора, установлено множество датчиков — трехосевые гироскоп и акселерометр (а иногда и магнитометр), ГЛОНАСС/GPS-приемник, датчик давления, датчик воздушной скорости. С этими приборами беспилотный летательный аппарат сможет летать строго по заданному курсу.

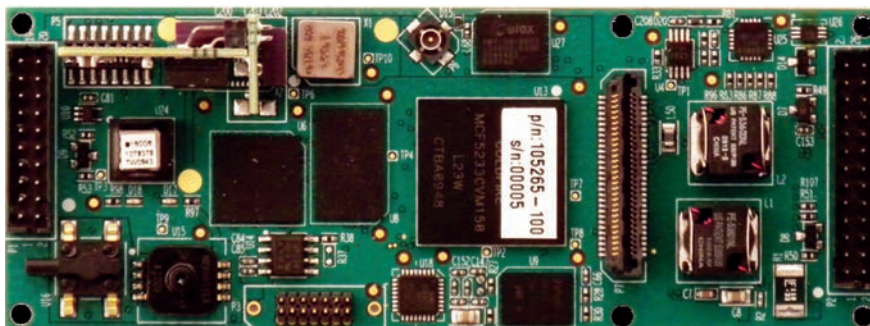


Рис. 3. Автопилот Micropilot [7]

В БПЛА имеется *радиомодем*, необходимый для загрузки полетного задания, передачи в наземную систему управления телеметрических данных о полете и текущем местоположении на участке работ.

Наземная система управления (НСУ) — это планшетный компьютер или ноутбук, оснащенный модемом для связи с БПЛА. Важная часть НСУ — программное обеспечение для планирования полетного задания и отображения хода его выполнения.

Как правило, полетное задание составляется автоматически, по заданному контуру площадного объекта или узловым точкам линейного объекта. Кроме того, существует возможность проектирования полетных маршрутов, исходя из необходимой высоты полета и требуемого разрешения фотоснимков на местности. Для автоматического выдерживания заданной высоты полета есть возможность учесть в полетном задании цифровую модель местности в пространственных форматах.

Во время полета на картографической подложке монитора НСУ отображается положение БПЛА и контуры снимаемых фотографий. Оператор имеет возможность во время выполнения полета оперативно перенацелить БПЛА на другой район посадки и даже оперативно посадить беспилотник с «красной» кнопки наземной системы управления. По команде с НСУ могут быть запланированы и другие вспомогательные операции, например — выброс парашюта.

Кроме обеспечения навигации и обеспечения полета автопилот должен управлять фотоаппаратом, чтобы получать снимки с заданным межкадровым интервалом (как только БПЛА пролетит нужное расстояние от предыдущего центра фотографирования). Если заранее рассчитанный межкадровый интервал не выдерживается стабильно, приходится настраивать время срабатывания затвора с таким расчетом, чтобы даже при попутном ветре продольное перекрытие было достаточным.

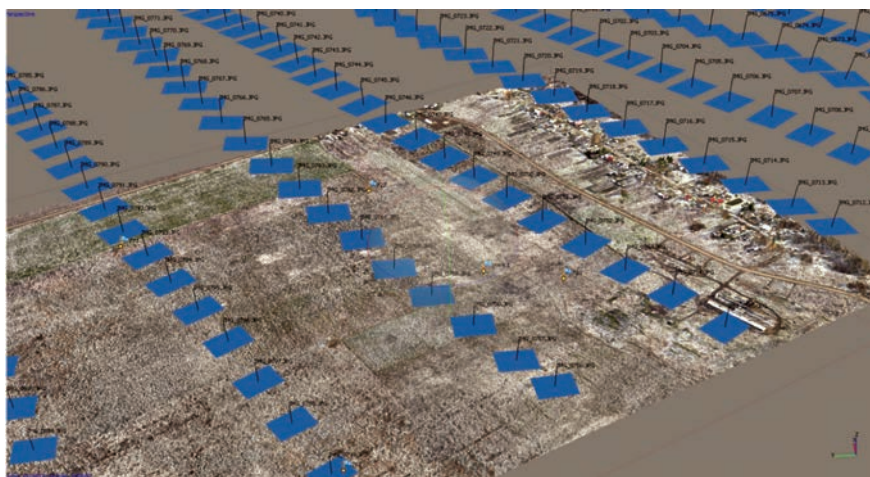


Рис. 4. Схема размещения аэроснимков (голубые прямоугольники с подписями номеров)

Автопилот должен регистрировать координаты центров фотографирования геодезического спутникового приемника ГЛОНАСС/GPS, чтобы программа автоматической обработки снимков смогла построить модель быстро и привязать ее к местности. Требуемая точность определения координат центров фотографирования зависит от технического задания к выполнению аэрофотосъемочных работ.

Аэрофотосъемочное оборудование на БПЛА устанавливается в зависимости от его класса и цели использования.

На микро- и мини-БПЛА устанавливаются компактные цифровые фотокамеры, комплектуемые сменными объективами с постоянным фокусным расстоянием (без трансформатора или зум-устройства) весом 300–500 граммов. В качестве таких камер в настоящее время используются фотоаппараты SONY NEX-7 с матрицей 24,3 МП, CANON 600D с матрицей 18,5 МП и подобные им. Управление срабатыванием затвора и передача сигнала от затвора в спутниковый приемник производится с помощью штатных или незначительно доработанных электрических разъемов фотоаппарата.

На легкие БПЛА малого радиуса действия устанавливаются зеркальные фотокамеры с большим размером светочувствительного элемента, например Canon EOS 5D (размер сенсора 36×24 мм), Nikon D800 (матрица 36,8 МП (размер сенсора 35,9×24 мм)), Pentax 645D (CCD-сенсор 44×33 мм, матрица 40 МП) и им подобные, весом 1,0–1,5 килограмма.

ВОЗМОЖНОСТИ БПЛА

Согласно требованиям документа «Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов» ГКИНП-09-32-80 носитель аэрофотосъемочной аппаратуры должен предельно точно следовать проектному положению маршрутов аэрофотосъемки, выдерживать заданный эшелон (высоту фотографирования), обеспечивать требования по соблюдению предельных отклонений по углам ориентирования фотокамеры — наклон, крен, тангаж. Кроме того, навигационная аппаратура

Таблица 2

должна обеспечивать точное время срабатывания фотозатвора и определять координаты центров фотографирования.

Выше указывалась аппаратура, интегрированная в автопилот: это микробарометр, датчик воздушной скорости, инерциальная система, навигационная спутниковая аппаратура. По проведенным испытаниям (в частности, БПЛА Geoscan 101) были установлены следующие отклонения реальных параметров съемки от заданных:

- уклонения БПЛА от оси маршрута — в диапазоне 5–10 метров;
- уклонения высот фотографирования — в диапазоне 5–10 метров;
- колебание высот фотографирования смежных снимков — не более 2 метров.

Возникающие в полете «елочки» (развороты снимков в горизонтальной плоскости) обрабатываются автоматизированной системой фотограмметрической обработки без заметных негативных последствий.

Фотоаппаратура, устанавливаемая на БПЛА, позволяет получить цифровые изображения местности с разрешением лучше 3 сантиметров на один пиксель. Применение коротко-, средне-, и длиннофокусных фотообъективов определяется характером получаемых готовых материалов: будь это модель рельефа или ортофотоплан. Все расчеты производятся так же, как и в «большой» аэрофотосъемке.

Применение двухчастотной ГЛОНАСС/GPS спутниковой геодезической системы для определения координат центров снимков позволяет в процессе постобработки получить координаты центров фотографирования с точностью лучше 5 сантиметров, а применение метода PPP (Precise Point Positioning) — позволяет определять координаты центров снимков без использования базовых станций или на значительном удалении от них.

Номера точек	Ошибки по осям координат, м			Абс, м	Абс, пикс.	Проекция
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔD	$\Delta D'$	
703	- 0,017	-0,075	0,069	0,103	0,606	5
727	0,058	0,065	0,086	0,123	0,789	6
762	- 0,060	0,020	-0,045	0,078	0,994	5
773	- 0,021	0,100	-0,246	0,267	1,192	7
827	0,041	- 0,111	0,138	0,181	1,346	8
$(\Delta D)^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2$						

Конечная обработка материалов аэрофотосъемки может служить объективным критерием оценки качества выполненной работы. Для иллюстрации можно рассмотреть данные об оценке точности фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки с БПЛА, выполненной в ПО «PhotoScan» (производства фирмы Agisoft, г. Санкт-Петербург) по контрольным точкам (табл. 2).

ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА

В мире, а в последнее время и в России, беспилотные летательные аппараты применяются в геодезических изысканиях при строительстве, для составления кадастровых планов промышленных объектов, транспортной инфраструктуры, поселков, дачных массивов, в маркшейдерском деле для определения объемов горных выработок и отвалов, при учете движения сыпучих грузов в карьерах, портах, горнообогатительных комбинатах, для создания карт, планов и 3D-моделей городов и предприятий.

Беспилотники применяются при мониторинге линий электропередач (определение зарастания, провисания проводов, деформации опор, повреждения изоляторов и проводов), трубопроводов (выявление врезок, незаконных построек, зарастания), до-

рог (выявление деформации насыпи, дефектов полотна), для мониторинга госграницы, особо охраняемых объектов, зон аэропортов (выявление изменений, выявление незаконных построек), акваторий портов и др.

Эти аппараты также применяются для обнаружения лесных пожаров, при ликвидации чрезвычайных ситуаций, отслеживании нарушителей ПДД, для проводки судов во льдах. Используют их и в потребительском секторе — для съемки спортивных соревнований, рекламных роликов, съемки для создания карт и 3D-моделей личных владений.

Литература

1. Павлушенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. БПЛА: история, применение, угроза распространения и перспективы развития. М., «Права человека», 2005.
2. www.wikipedia.org.ua.
3. Цепляева Т.П., Морозова О.В. Этапы развития беспилотных летательных аппаратов. М., «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии», № 42, 2009.
4. Сайт Missiles.ru.
5. Сайт www.mavinci.de.
6. Сайт www.geoscan.aero.
7. Сайт www.micropilot.com.

Продолжение в следующем номере.