

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

**Методическое пособие по геодезическому
обеспечению аэросъемочных работ с БПЛА
(основные аспекты).**

Предназначенные для слушателей ФПК по направлению
«Геодезическое обеспечение геоинформационных систем»

Воронеж 2025

Оглавление

1 Этапы выполнения аэрофотосъемочных работ	3
1.1 Подготовительный	4
1.2 Аэросъемка.....	13
1.3 Постобработка.....	14
2 Заключение.....	17

Составители: д.э.н. Трухина Н.И., ст. преп. В. А. Костылев,
ассистент А.И. Плукчи

1 Этапы выполнения аэрофотосъемочных работ

Учитывая, что одной из основных задач геодезии и фотограмметрии является разработка методов составления топографических планов и карт в методическом пособии основное влияние уделяется подробному анализу аэросъемки с БПЛА как основного метода создания планов.

Аэросъемка с БПЛА принципиально не отличается от съемки с самолетов, но имеется ряд особенностей.

Главная особенность заключается в том, что по точным характеристикам съемка с БПЛА все еще уступает съемкам с самолетов.

Обусловлено это следующими факторами:

- Использование в большинстве случаев неметрических камер для съемки изначально не откалиброванных.
- Обычно на БПЛА устанавливают дешевые GPS приемники. Размещение более дорогих и сложных связано с ограничением взлетной массы беспилотников легкого класса.
 - Небольшая крейсерская скорость полета (до 120 км/ч).
 - Ограниченная высота съемки.
 - Неустойчивость полета БПЛА из-за влияния возмущающих факторов (порывы ветра, турбулентность и т.п).
- В отдельных случаях производится нестрогая фотограмметрическая обработка данных съемки.
 - Дополнительные требования к выбору параметров съемки.
 - Отсутствие практического опыта по использованию БПЛА.
 - Проблемы, возникающие при съемке сложных территорий (наличие растительности, съемка городов).
 - Особенности создания планов высотного обоснования.
- Потенциальная опасность работ при съемке с БПЛА требует особого внимания и осторожности со стороны оператора.

Процесс аэрофотосъемки с БПЛА состоит из трех основных этапов: подготовительного, собственно съемки и постобработки.

1.1 Подготовительный

На подготовительном этапе выполняются следующие виды работ:

- Изучение имеющихся материалов. формирование или сбор требований к материалам, которые нужно получить по результатам съемки – тип и масштаб карты, границы объекта съемки. приведение их в технические требования к съемочным материалам: разрешение, координаты контура участка съемки, перекрытие снимков, точность определения координат центров фотографирования, требования к наземной опорной сети (при комбинированной съемке, например когда привязка фотоплана производится по точкам наземной опорной сети, требования к точности определения координат центра картографирования (КЦФ).

- Формирование полетного задания БПЛА. Выполняется программой – планировщиком полета, входящей в состав комплекса. Оператор должен выбрать используемый комплекс БПЛА (в случае, если программа позволяет работать с несколькими конфигурациями БПЛА и фотоаппаратуры), задать на карте контур участка съемки и примерное положение стартовой площадки, установить требуемое разрешение и перекрытие, после чего программа рассчитывает план полета и проверяет его выполнимость.

Здесь необходимо несколько подробнее рассмотреть вопрос планирования аэрофотосъемочных работ.

Применение специального программного обеспечения не дает основания считать это простой задачей.

Должное внимание при этом необходимо уделить вопросу выбора параметров аэрофотосъемки. От их выбора (оптимального) зависит качество аэрофотоснимков и в конечном итоге точность результатов фотограмметрии четкой обработки, особенно если это связано с созданием топографо-геодезических материалов.

К основным параметрам относятся:

- Высота полета. Она в совокупности с параметрами камеры определяет линейный элемент разрешения аэрофотоснимка на местности, определяющим точность конечных результатов. Корректируя высоту съемки, можно изменить значение размера и количество изображений. Необходимо отметить, что практически все параметры съемки при составлении полетного задания определяются относительно стартовой площадки. Отсюда следует, что истинная высота полета постоянно меняется в зависимости от рельефа местности. Меняется площадь местности на снимке, размер пикселя на местности и перекрытие снимков. Все это приводит к разному масштабности. Таким образом, задавать (рассчитывать) высоту съемки необходимо с учетом рельефа местности (перепад высот) или выполнять съемку в режиме «полет по рельефу».

- Скорость полета. Она вместе с выдержкой затвора объектива и уровнем светочувствительности определяют величину «смаза» изображения. Для устранения «смаза» необходимо экспериментально установить зависимость ее величины от высоты и скорости полета с наименьшими возможными выдержками.

- Перекрытие (продольное и поперечное). Для строгой фотограмметрической обработки снимков с целью получения максимально точных результатов при расчете параметров величину поперечного и продольного перекрытий проектировать соответственно 50% и 80%. Такие перекрытия позволят исключить разрывы в фототриангуляционном блоке и выполнить автоматическое измерение связующих точек.

При выборе съемочной камеры необходимо выполнять следующие требования:

- Наличие центрального затвора, или иного способа одновременного экспонирования всех элементов матрицы.

- Жесткая фиксация фокусировки на бесконечность.

- Цифровая аэрофотокамера должна иметь значение элементов внутреннего ориентирования и параметры дисторсии, определенные с необходимой точностью.

- Постоянство значений элементов внутреннего ориентирования.

Необходимо отметить, что дисторсия является основным источником искажения центральной проекции на снимках.

На рисунке 1 показано влияние дисторсии объектива камеры БПЛА на изображение. (снимки получены с БПЛА Phantom 4).



а



б

***а* - изображение «сырого» снимка;
б - изображение снимка, исправленное за дисторсию**

Рисунок 1. Влияние дисторсии объектива камеры БПЛА.

Для устранения влияния дисторсии, помимо выбора съемочной камеры, при обработке использовать соответствующее программное обеспечение (например, в программном продукте Agisoft Metashape Professional).

Создание планово-высотного обоснования при съемке с БПЛА для составления топографических планов.

Планово-высотное обоснование – сеть закрепленных на местности точек, положение которых определяется в общей геодезической системе координатных высот.

Изначально точки планово-высотного обоснования проектируются в камеральных условиях на картах или схемах. В дальнейшем, в полевых условиях при закреплении точек планово-высотного обоснования, их местоположение может меняться от изначального запланированного.

Требования по плотности точек планово-высотного обоснования (ПВО) для аэрофотосъемки с помощью БПЛА приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к точкам планово-высотного обоснования.

Требования	Площадная съемка				Линейная съемка		
	1:5000	1:2000	1:500	1:500+	1:5000	1:2000	1:500
Количество точек 1 км ²	0,5	2	6	10	0,5	2	6
Точность определения координат точек ПВО (см)	20	10	5	3	20	10	5

Перед закреплением опознаков, на месте взлета БПЛА ставится референсная базовая станция, включается режим статики.

Статический – метод, при котором наблюдение подвижной станцией на точке выполняют одним приемником продолжительностью не менее 1 часа.

В качестве опознаваемых знаков можно использовать любой четко распознаваемый элемент на местности – четкие контуры (углы зданий, углы ограждений, столбы и т.п), центры люков, а также нарисованные кресты или закрепленные пластиковые тарелки.

При закреплении опознаков должны соблюдаться некоторые условия:

- Оознаваемые знаки надо закреплять в таких местах, чтобы в дальнейшем на аэрофотоснимках они были легко распознаваемы, а их изображения не закрывались изображениями других предметов или их тенями.

- На застроенных участках опознаками могут являться хорошо видимые предметы и детали сооружений. В случае необходимости они должны быть подкрашены краской для создания контрастности. Опознаки координируются с помощью приемников спутниковой связи GPS/ГЛОНАСС, в режиме RTK (Real Time Kinematic). RTK – режим, при котором определяются плановые и высотные координаты точек местности с сантиметровой точностью с помощью спутниковой системы навигации посредством получения поправок с базовой станции, принимаемой аппаратурой пользователя во время съемки. Для повышения точности создания ортофотопланов и карт высот необходимо получить координаты центров фотографирования (КЦФ) с точностью до 5-10 см. добиться такой точности возможно при обработке материалов спутниковых измерений в программном обеспечении Topcon Magnet Tools.

Ход действий следующий:

- Создается проект, в котором указывается используемая система координат, проекция.

- Производится загрузка данных с приемника. Указываются используемые типы антенн, координаты референц станций, высота приемника.

- Выполняется постобработка измерений и их уравнивание. Результатом данных действий являются координаты приемников.

- Загружаются данные с бортового приемника БПЛА. Выполняется постобработка и уравнивание измерений.

Результатом вышеперечисленных действий являются координаты центров фотографирования используемые для привязки полученных фотографий в пространстве.

Полученные координаты центров фотографирования можно использовать в качестве опорных точек, уменьшая их количество закрепления на участке съемки.

Создание планово-высотного обоснования для съемки с БПЛА требует дополнительных исследований с целью решения таких вопросов как: определение вида опознаков, тип закрепления, их количество и схема размещения и т.п.

Выбор съемочного оборудования.

При выборе БПЛА для аэросъемки. Использовался ряд признаков:

- Тип конструкции БПЛА самолётного или вертолётного типа.
- Способ управления: автоматический или полуавтоматический.
- БПЛА для аэрофотосъемки в целях картографирования должен иметь на своем борту полноценный автопилот, способный выдерживать параметры съемки (маршрут, углы наклона фотоаппарата, процент продольного и поперечного перекрытия, высоту и т.д.) даже при малой массе аппарата в широком диапазоне метеоусловий.
- Полезная нагрузка: откалиброванная цифровая автоматическая фотокамера (возможно в качестве дополнения видекамера, тепловизор и ИК-камера).
- Коммерчески доступные выдержавшие экспериментальные полеты и поступившие в серийное производство.
- С помощью модели выполнены фотограмметрические проекты, на которые есть ссылки на сайте производителя, либо по материалам проектов выпущены статьи. На сайте компании есть указание, что главным или одним из назначений является аэрофотосъемка.

Важным моментом является при аэросъемке с БПЛА выбор съемочной камеры. Некоторые модели БПЛА снабжаются профессиональными камерами.

Пример технических камер приведен в таблице 2.

Таблица 2 – технические характеристики камер для БПЛА.

Параметры	Nikon D800	Ricoh GR	Canon IXUS	Sony RX1	Sony NEX5	Canon_EOS 5D mark2	Phase One IXU 150
Площадь (кв. км.)	30						
Ширина кадра (пикс.)	4912	2736	3000	4000	3264	3744	6208
Длина кадра (пикс.)	7360	3168	4000	6000	4912	5616	8280
МПикс.	36	9	12	24	16	21	51
Физ. размер пикселя (мкм)	5	2	1,5	6	4,9	6,5	5,3
GSD, см	5						
Площадь кадра (кв. км.)	0,09	0,02	0,03	0,06	0,04	0,05	0,13
Продольное перекрытие (%)	80						
Поперечное перекрытие (%)	60						
Фокусное расстояние (мм)	50	6	4	35	16	50	55
Интервал фотографирования (с)	0,6	0,6	0,6	1	1	0,8	0,8
Количество фотографий	4149	17306	12500	6250	9356	7134	2918
Время съемки (час)	0,7	2,9	2,1	1,7	2,6	1,6	0,6
Высота съемки (м)	500	150	133	292	163	385	519

Ниже приведены основные фотограмметрические БПЛА для картографирования.

Фотограмметрические БПЛА компании «DJI»

Такие компании как DroneDepo, теперь имеют программное обеспечение совместимое со всеми дронами «DJI», включая новейшие складывающийся дрон Mavic Pro. (рисунок 2).



Рисунок 2. Квадрокоптер Mavic Pro.

Дрон Mavic Pro отлично подходит для фотограмметрии и лидарного картографирования. В этом квадрокоптере используется новейший инерциальный измерительный блок (IMU), технология стабилизации управления полетом при съемке, встроенная стабилизированная шарнирная подвеска и камера с разрешением 4К.

С его помощью можно создавать довольно точные координатные облака и отличные 3D-карты, составляемые с использованием программного обеспечения таких компаний, как DroneDeploy или Pix4D.

Квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro (рисунок 3).



Рисунок 3. Квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro.

Для DJI Phantom 4 Pro можно использовать версию Pix4Dmapper Mesh DJI. Phantom 4 также работает с программным обеспечением Drone Deploy и Site Scan. Дрон Phantom 4 отличается плавностью полета, имеет две навигационные системы, датчики обнаружения препятствий и предотвращения столкновений. Он оснащен камерой с разрешением 4К. Также важно и то, что в нем применяется навигация по маршрутным точкам.

Это один из самых популярных квадрокоптеров, который используется для получения 3D-изображений.

1.2 Аэросъемка

Следующий этап это собственно съемка.

В общем виде этот этап выполняется в следующей последовательности.

По прибытию на исходную стартовую площадку производится:

- Уточняются некоторые параметры съемки, в частности, скорость и направление ветра, на рабочей высоте.

Для этого используются заранее уточнённые метеоданные на день выполнения съемки.

- Уточняются данные плана полета.
- Подготовка БПЛА к старту и его запуск.
- Выполнение съемки.
- Посадка.

На этом этапе, не смотря на автоматический режим выполнения съемки, многократно возрастает роль оператора. Работать приходится с БПЛА как в пределах прямой видимости, так и за пределами. Очень важный момент, который нужно рассмотреть – это способ управления БПЛА.

В большинстве случаев при решении топографических задач применяется ручное управление. Оператор решает задачу пилотирования: поддержание нужного курса, высоты полета и, т.п.

Оно не может рассматриваться в качестве платформы при решении топографических задач.

Наиболее востребованы в настоящее время автоматический и полуавтоматические режимы.

Автоматическое управление обеспечивает возможностью выполнять полностью автономный полет в соответствии с планом (проектом) полета. С помощью бортовых программных устройств.

Полуавтоматическое управление – полет осуществляется с помощью автопилота, (без вмешательства оператора), но при этом предусматривается возможность корректировки результатов функционирования БПЛА в интерактивном режиме не уделяя внимание процессу пилотирования, что может устранить возникновение внештатных (аварийных) ситуаций. Ответственность, за это несет оператор, осуществляющий процесс съемки.

На современном этапе при эксплуатации автономных БПЛА одну из главных ролей играет искусственный интеллект.

Значимость искусственного интеллекта повышается в самообучении БПЛА после каждого выполненного полета с улучшением своих навыков и эффективности. Неоценимая роль ИИ при развитии рой-беспилотных технологий.

1.3 Постобработка

Постобработка результатов аэрофотосъемки.

Этот этап решает главную роль в процессе аэрофотосъемки с БПЛА. Правильная обработка влияет на получение топографо-геодезических материалов с требуемой точностью и достоверностью.

Процесс обработки – процесс сложный и ответственный. Это обусловлено тем, что БПЛА собирает огромное количество данных, которые необходимо обработать и проанализировать. Для этого требуется специализированное программное обеспечение и опытные специалисты для полной, профессиональной интерпретации результатов измерений.

Ниже приведена общепринятая схема обработки.

- Предварительная обработка материалов съемки:
- Снятие данных с бортовых носителей.
- Визуальная оценка качества и отбраковка «лишних» снимков.
- Очистка от шумов и артефактов.

- Фильтрация данных с помощью специальных алгоритмов для исключения влияния внешних факторов (порывы ветра, вибрация и т.п.).
- Создание проекта (имя, система координат, диапазон высот объекта, размещение в системе ресурсов).
- Загрузка изображений в программу через конвертирование во внутренний формат MS-TIFF.
- Импорт ориентирования из метаданных.
- Внутреннее ориентирование (создание паспорта камеры).
- Импорт внешнего ориентирования.
- Формирование накидного монтажа по внешнему ориентированию.
- Уравнивание сети. Контроль
- Создание ЦМР (облако точек, TIN, структурные линии, матрица высот, горизонталы), контроль.
- Трансформирование по изображениям. Контроль
- Работа с ортофотоснимками (порезы, выравнивание яркости, нарезка на листы), контроль.
- Стереовекторизация для создания 3D карт и 3D моделей.
- Создание 2D карт(в некоторых случаях).

Важно отметить, что для получения желаемых результатов по материалам аэрофотосъемки с БПЛА для составления карт (планов) и трехмерных моделей необходимы специальные программные приложения для обработки изображений. Сегодня на рынке специализированного ПО для картографии имеются подходящие для использования их вместе с беспилотниками от DJI. К ним относятся PIX 4D, DroneDeploy и DJI Terra.

В 2022 году были разработаны новые требования к комплексам аэрофотографической съемки с беспилотников.

Принят национальный стандарт ГОСТ Р 70078-2022 «Программно-аппаратный комплекс аэрофототопографической съемки с использованием

беспилотного воздушного судна. Технические требования», который вступает в силу с 1 сентября 2022 года.

Положения нового стандарта распространяются на программно-аппаратные комплексы аэрофототопографической съемки, выполняемой с использованием беспилотного воздушного судна с целью создания цифровых топографических карт, планов, ортофотопланов, цифровых моделей рельефа, 3D моделей территории, а также обеспечения задач кадастра недвижимости координатами характерных точек границ и контуров объектов недвижимости, полученными фотограмметрическим методом в соответствии с ГОСТ Р 59562, а также с целью создания ориентированных аэроснимков для построения стереомоделей застроенных территорий по ГОСТ Р 58854.

ГОСТ Р 70078-2022 устанавливает требования к составу, компонентам и документации программно-аппаратного комплекса аэрофототопографической съемки, выполняемой с использованием беспилотного воздушного судна, и предназначен для применения организациями, независимо от форм собственности и подчинения, занимающимися аэрофототопографической съемкой, а также разработкой и производством программно-аппаратных комплексов беспилотной аэрофототопографической съемки.

При организации и проведении аэрофотосъемки с БПЛА необходимо руководствоваться данным стандартом.

2 Заключение

Последние десятилетия охарактеризовались бурным развитием цифровых технологий, проникающих почти во все отрасли экономического развития страны.

Одной из таких технологий является беспилотная. Обладая неограниченными возможностями решения ряда инженерно-технических и других задач, поставило человечество в тупик. Обозначился огромный разрыв между темпами разработки и производством беспилотных летательных аппаратов и нормативно-правовой базы, с обеспечивающей эффективное и безопасное использование их.

Этому способствует и отсутствие знаний и опыта у потребителей.

Единично выполненные работы требуют их тщательного анализа и разработки единых норм и правил их проведения с применением БПЛА.

Возникла настоятельная необходимость в проведении научно-производственных исследований в этом направлении.

Фактически, БПЛА становится инструментом, средством измерения аналогично тахеометру, лазерному сканеру. Применение БПЛА-технологий позволяет оперативно получать качественную, объективную информацию для решения землеустроительных задач с учетом требований в современных экономических условиях.

Повышение эффективности применения БПЛА в землеустройстве напрямую связано со следующими факторами:

- снижение административно-правовых барьеров, тормозящих внедрение беспилотных технологий, заключающихся в ужесточении возможности проведения съемок;
- повышение длительности полетов. Это возможно достичь применением более энергоемких водородных аккумуляторов. Рассматриваются перспективы использования солнечных батарей;

- использование при съемке гиперспектральной камеры позволит получить достоверные агрономические данные, пригодные для принятия эффективных агрономических решений;

- применение «думающих» беспилотников с элементами искусственного интеллекта.

Технология картографирования с использованием БПЛА уникальна с точки зрения ее новизны, простоты, доступности и экономичности. Однако, разработчик БПЛА не геодезист и не картограф. Он – конструктор, и не может учесть все аспекты топографо – геодезических и землеустроительных работ.

Нужна поставленная универсальная технология использования. Нужны специалисты, способные грамотно организовать процесс съемки и обработки данных.