

УДК: 528.71

А.С. Костюк

Западно-Сибирский филиал «Госземкадастрсъёмка» – ВИСХАГИ, Омск

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БПЛА

В статье рассмотрены особенности расчета параметров аэрофотосъемки с малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Изложен способ оперативной оценки качества аэрофотосъемки с БПЛА.

A.S. Kostyuk

West-Siberian branch «Goszemkadastrsyomka» - VISHAGI

4 Prospect Mira, Omsk, 644080, Russian Federation

CALCULATION OF THE PARAMETERS AND EVALUATION OF QUALITY WITH UAV AERIAL PHOTOGRAPHY

The article describes the features of calculation of parameters from aerial surveys of small unmanned aerial vehicles (UAVs). Described method for rapid assessment of the quality of aerial photography from unmanned aircraft.

Проведение работ по инвентаризации земель и объектов недвижимости, подготовка документов для постановки на государственный кадастровый учёт и государственная регистрация прав подразумевает выполнение комплекса картографо-геодезических, землеустроительных и кадастровых работ. Для поддержания информации на современном уровне необходим системный мониторинг. Для локального обновления картографического материала интенсивно используемых земель целесообразно использовать беспилотно-пилотируемые летательные аппараты. В Западно-Сибирском филиале предприятия «Госземкадастрсъёмка» – ВИСХАГИ разработано несколько летательных аппаратов и все они попадают в весовую категорию до 3,5 кг.

Несмотря на всю простоту любительской съемки с БПЛА, при проведении аэрофотосъемочных работ для целей картографирования возникает ряд проблем, связанных с выбором фотокамеры, устанавливаемой на летательный аппарат, расчетом параметров аэрофотосъемки и оперативной оценке качества материалов аэрофотосъемки.

Выбор фотокамер для целей аэрофотосъемки основан на анализе следующих характеристик: разрешающей способности снимков, физическом размере матрицы, величине угла захвата, веса камеры и её стоимости. Нами была разработана методика присвоения оценочных баллов по каждой характеристике фотоаппарата. Лучшим фотоаппаратом считался фотоаппарат, набравший большую сумму баллов. Было исследовано более десяти цифровых камер подходящих для установки на БПЛА из модельного ряда весовой категории до 3,5 кг.

По результатам исследования, наилучшими для целей аэрофотосъемки признаны камеры Canon IXUS-980IS, Pentax Optio-A30 и Sony DSC-W300, их основные характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1 Основные характеристики выбранных фотокамер

Название фотокамеры	Длина матрицы, пкс	Ширина матрицы, пкс	Размер матрицы, "	f экв 35 мм кадру, мм	Вес, г
Canon IXUS-980IS	4416	3312	1/1.7	36.0	160
Sony DSC-W300	4224	3168	1/1.7	35.0	156
Pentax OptioA30	3648	2736	1/1.8	38.0	150

В настоящее время на беспилотных летательных аппаратах Западно-Сибирского филиала “Госземкадастрсъемка” – ВИСХАГИ установлена фотокамера Pentax Optio-A30. Камера хорошо показала себя во время производственной и экспериментальной аэрофотосъемки. Постоянно развивающаяся технология аэрофотосъемки с БПЛА требует приобретения новых фотокамер и совершенствования методики их выбора.

Расчет параметров аэрофотосъемки изложен в соответствующих нормативных документах. Аэрофотосъемка с малых беспилотных летательных аппаратов имеет ряд особенностей. Превышение допустимых углов наклона снимков, несоблюдение прямолинейности траектории полета, для обеспечения необходимого перекрытия между снимками высокая частота фотографирования и как следствие избыток кадров. Нами была разработана методика расчета следующих параметров аэрофотосъемки с БПЛА: высоты фотографирования, расстояния между маршрутами и между центрами фотографирования на маршруте.

Высота аэрофотосъемки зависит от масштаба создаваемого фотоплана. Величина крайнего пикселя снимка на местности не должна превышать 0.07 мм в масштабе создаваемого фотоплана. Например при создании фотоплана

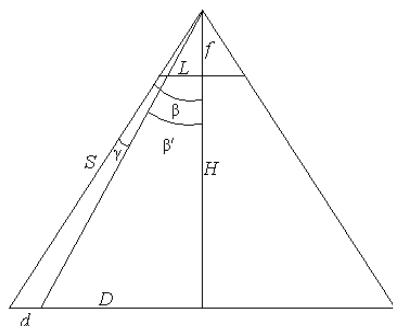


Рис. 1. Связь размера пикселя снимка с местностью

масштаба 1 : 2000 величина пикселя на местности d не должна превышать 0.14 м. Расчет разрешающей способности снимка следует производить для пикселей наиболее удаленных от центра кадра. Схема связи размера крайнего пикселя снимка с местностью показана на рисунке.

На рисунке: f – фокусное расстояние камеры в эквиваленте для 35 мм кадра;

L – длина половины диагонали матрицы, для 35 мм кадра она составит 21.6 мм;

H – высота фотографирования во время АФС;

D – длина половины диагонали снимка на местности.

Из рисунка следует:

$$S = \frac{d \cdot \cos(\gamma - \beta)}{\sin \gamma}; \quad (1)$$

$$H_{\max} = S \cdot \cos \beta; \quad (2)$$

Расчет максимально допустимой высоты аэрофотосъемки выполняется по формуле (2), где угол β зависит от индивидуальных параметров используемой фотокамеры и может быть рассчитан исходя из величины фокусного расстояния эквивалентного 35 мм кадру.

В зависимости от точности GPS навигации и особенностей пилотирования БПЛА могут быть достигнуты следующие параметры выдерживания самолета на маршруте:

- Поперечное смещение от оси маршрута ± 10 м;
- Удержание БПЛА на запроектированной высоте ± 15 м;
- Расстояние от запроектированного центра фотографирования до точки срабатывания затвора фотоаппарата ± 5 м;
- Изменение угла крена БПЛА на маршруте между двумя снимками 10° ;
- Изменение угла тангажа БПЛА на маршруте между двумя снимками 6° .

Приведенные параметры полета БПЛА были получены в результате постобработки множества материалов производственной и экспериментальной аэрофотосъемки.

Для расчета расстояния между маршрутами обеспечивающего 30 % поперечное перекрытие при идеальных условиях по формуле (3) вычисляется половина поперечного угла захвата камеры, где $L_{\text{попереч}}$ – половина ширины 35 мм пленки и составляет 12 мм:

$$\beta'' = \text{arctg} \left(\frac{f}{L_{\text{попереч}}} \right); \quad (3)$$

Высота полета с учетом погрешности барометрического датчика рассчитывается по формуле (4):

$$H_{\text{пол}} = H_{\max} - 20 \text{ м}; \quad (4)$$

Половина ширины захвата местности камерой вычисляется по формуле (5):

$$D = H_{\text{пол}} \cdot \text{tg} \beta''; \quad (5)$$

Расстояние между маршрутами в идеальных условиях рассчитывается по формуле (6):

$$R_{\text{уд}} = 2 \cdot k \cdot D, \quad (6)$$

где $k = 0,7$, для обеспечения 30 % поперечного перекрытия снимков.

Для обеспечения надежного сплошного покрытия земной поверхности снимками необходимо учесть максимальные отклонения БПЛА от запроектированного маршрута. Минимальное значение половины ширины захвата местности во время аэрофотосъемки с учетом совокупности погрешностей навигационных данных и пилотирования летательного аппарата вычисляется по формуле (7):

$$D_{\min} = (H_{\text{пол}} - 15 \text{ м}) \cdot \text{tg}(\beta - 5^\circ) - 10 \text{ м}; \quad (7)$$

Предельное отклонение между двумя маршрутами составит:

$$\delta D = 2 \cdot (D - D_{\min}); \quad (8)$$

Расстояние между маршрутами с учетом поперечного смещения БПЛА относительно оси маршрута, удерживания высоты полета и углов наклона камеры, вычисляется по формуле (9):

$$R_{\text{попереч}} = R_{\text{ид}} - \delta D; \quad (9)$$

По формулам (1)–(9) вычисляется высота полета БПЛА для выбранных фотоаппаратов и расстояние между маршрутами при создании фотопланов масштаба 1 : 2 000. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 Расчет высоты фотографирования и расстояния между маршрутами

Название фотокамеры	H_{\max} , м	$H_{\text{пол}}$, м	$R_{\text{ид}}$, м	D_{\min} , м	δD , м	$R_{\text{попереч}}$, м
Canon IXUS-980IS	520	500	233	106	122	112
Sony DSC-W300	484	464	223	101	116	107
Pentax Optio-A30	467	447	198	86	110	87

Расстояние между центрами фотографирования на маршруте рассчитывается по аналогии с расстоянием между маршрутами. По формуле (3) вычисляется половина продольного угла захвата камеры, где L - половина длины 35 мм пленки и составляет 18 мм. Расстояние между центрами фотографирования в идеальных условиях рассчитывается по формуле (6), для обеспечения 60% продольного перекрытия снимков коэффициент k будет равен 0,4. По формуле (7) вычисляется минимальное значение половины длины захвата местности во время АФС. Предельное отклонение расстояния между снимками от рассчитанного вычисляется по формуле (8). Расстояние между центрами фотографирования с учетом погрешности навигационных координат, удерживания высоты полета и углов наклона камеры, рассчитывается по формуле (10):

$$R_{\text{прод}} = R_{\text{ид}} - \delta D ; \quad (10)$$

Результаты полученные в ходе вычисления расстояния между центрами фотографирования вдоль маршрута приведены в табл. 3.

Таблица 3 Расчет расстояния между центрами фотографирования

Название фотокамеры	$R_{\text{ид}}$, м	D_{min} , м	δD , м	$R_{\text{прод}}$, м
Canon IXUS-980IS	200	207	87	113
Pentax Optio-A30	191	197	83	108
Sony DSC-W300	169	173	78	91

По данным табл. 2 и 3 на примере фотоаппарата Canon IXUS-980IS составлена карточка параметров аэрофотосъемки с БПЛА для целей получения фотоплана масштаба 1 : 2 000.

Карточка параметров АФС с БПЛА для целей картографирования	
Фотокамера:	Canon IXUS-980IS
Масштаб АФС:	1 : 2 000
Высота полета при АФС:	500 м
Расстояние между маршрутам:	110 м
Расстояние между центрами фотографирования на маршруте:	110 м
Допустимое отклонение от оси маршрута:	± 10 м
Допустимое отклонение от запроектированной высоты АФС:	± 15 м
Расстояние срабатывания затвора фотоаппарата от намеченных центров фотографирования вдоль оси маршрута:	± 5 м
Допустимое изменение угла крена БПЛА на маршруте между двумя снимками:	10°
Допустимое изменение угла тангажа БПЛА на маршруте между двумя снимками:	6°

Расчет параметров аэрофотосъемки очень важный этап подготовительных работ. Правильно рассчитанные параметры полета позволяют увеличить площадь покрываемую аэрофотосъемкой за один полет и повысить качество материалов аэрофотосъемки.

Для оперативной оценки качества выполнения аэрофотосъемки на нашем предприятии было разработано и внедрено в производство программное обеспечение в виде приложения *.mbx на базе Mapinfo. Программа позволяет проектировать маршруты согласно рассчитанным параметрам аэрофотосъемки. По полученным данным с борта летательного аппарата в реальном времени строится фактическая траектория полета. В момент прохождения БПЛА над точкой запроектированного центра фотографирования в автоматическом, либо ручном режиме подается команда на срабатывание затвора камеры. По высоте летательного аппарата и его

ориентации в пространстве в момент фотографирования строится условная рамка снимка, по которым можно оперативно оценить покрытие заданной территории аэрофотосъемкой, и, при необходимости, принять решение о повторном прохождении над проблемными участками.

Разработанная методика проектирования аэрофотосъемки с БПЛА позволила существенно сократить время выполнения аэрофотосъемочных работ и повысить качество материалов.

© А.С. Костюк, 2010