

УДК 528.7

АЭРОСЪЕМКА С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА;
канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ; П.Ф. ПАРАДНЯ
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается возможность использования снимков, полученных с беспилотного летательного аппарата MAVIC PRO с цифровой камерой FC-220, для задач картографирования. Работа выполнена на примере съемки учебного корпуса № 3 Полоцкого государственного университета. Представлен расчет количества снимков и угла засечки в зависимости от проектируемых параметров аэросъемки. Показано, что в случае, когда короткая сторона снимка расположена вдоль маршрута, будет ниже точность окончательных результатов, но и меньшее количество полученных снимков. Обработка данных произведена в программном комплексе Agisoft Photoscan. Выполнен анализ полученных угловых элементов внешнего ориентирования снимков. Рассмотрены особенности выбора и использования систем координат в данном программном продукте. Акцентировано внимание на несоответствие терминологии, используемой разработчиками Agisoft Photoscan, с общепринятой в навигации, фотограмметрии и других отраслях геодезического производства.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, аэросъемка, цифровая камера, курс, крен, тангаж, перекрытие.

При выполнении аэрофотосъемки с пилотируемых самолетов создается технический проект на производство работ, где указываются: объем работ; масштаб фотографирования; тип аэрофотоаппарата; наличие вспомогательных приборов; технические условия, предъявляемые к аэрофотоснимкам и др. [1].

Исходными данными служат: географическое размещение объекта; тип воздушного судна; высота фотографирования [1]. При этом маршруты планируют с продольным перекрытием (вдоль маршрута) порядка 60%, а между маршрутами – 20...30% [2; 3].

В зависимости от принятых величин продольного и поперечного перекрытий рассчитывают базис фотографирования B_X и расстояние между маршрутами аэросъемки B_Y по формулам [1; 3]:

$$B_X = \frac{l_x m (100 - p) \%}{100\%}; \quad B_Y = \frac{l_y m (100 - q) \%}{100\%}. \quad (1)$$

Здесь l_x, l_y – протяженность кадра вдоль и поперек маршрутов соответственно; m – знаменатель масштаба съемки; p, q – продольное и поперечное перекрытия соответственно.

Число снимков в маршруте $n_{сн}$ и число маршрутов n_m рассчитываются по формулам [4]:

$$n_{сн} = \frac{D_X}{B_X} + n_3; \quad n_m = \frac{D_Y}{B_Y} + n_3, \quad (2)$$

где D_X, D_Y – длина и ширина участка съемки соответственно; n_3 – число зарамочных снимков или маршрутов ($n_3 = 2, 3, 4$).

Зарамочные снимки необходимы для обеспечения границ участка съемки или объекта и, как правило, задаются заказчиком.

Рассчитанные базис фотографирования B_X и расстояния между маршрутами B_Y наносят на полетную карту, масштаб которой примерно в 5...10 раз мельче масштаба аэросъемки [4]. Первый маршрут совмещают с границей снимаемого участка (объекта). Также намечают ориентиры, через которые самолет должен пролететь [4].

В воздухе до начала съемки определяют силу и направление ветра, в соответствии с которыми устанавливают курс и путевую скорость самолета. Так как сила и направление ветра в ходе съемки могут изменяться, периодически уточняют как направление ветра, так и курс, определяют снос самолета и вычисляют угол упреждения. Разворачивают самолет на угол упреждения, чтобы полет осуществлялся по линии заданного пути. В ходе аэросъемки постоянно проверяют путевую скорость самолета и контролируют правильность прокладки маршрутов.

Применение пилотируемой авиации для аэрофотосъемки и лазерного сканирования требует много времени и больших затрат, поэтому оно нерентабельно на малых территориях [2; 5]. Для создания топографических планов и решения различных инженерных задач на небольших территориях сегодня используют мобильные комплексы беспилотной аэрофотосъемки, так как в этом случае значительно сокращается стоимость выполнения работ [5].

На предварительном этапе аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) также рассчитываются [2; 5]: высота полета, расстояние между соседними маршрутами, протяженность маршрутов и время полета по маршрутам. Созданное полетное задание записывается в автопилот БПЛА, а контроль его выполнения ведется в специальном программном обеспечении, отображающем текущие характеристики полета: скорость, высоту и направление движения, сопротивление ветра, заряд аккумулятора [2; 5]. Программное обеспечение для автопилотирования используют на большинстве беспилотных летательных аппаратах самолетного типа. Используемые в работе дрон MAVIC PRO и цифровая камера FC-220 созданы для любительских целей, и автопилот на нем выполняет только функции возврата в исходную точку при разрядке аккумулятора и при завершении времени полета.

Аэрофотосъемка с БПЛА выполняется с высоты до 700 метров с помощью цифровой фотокамеры, имеющей 10...24 МП матрицу и объектив с фокусным расстоянием f до 50 мм [5]. При этом число сделанных снимков значительно больше в сравнении с использованием специализированных аэрокамер, так как формат кадра значительно меньше, чем у профессиональных цифровых камер и БПЛА ведет себя нестабильно, поэтому приходится увеличивать процент перекрытий.

По завершении полета на цифровую фотограмметрическую станцию считывается полученный массив данных, содержащий аэрофотоснимки с информацией об угловых движениях летательного аппарата (крен, тангаж, рысканье) и его геодезических координатах (широта, долгота, высота) в момент фотографирования [2].

Как отмечают авторы работ [2; 6] с беспилотного аппарата сложно выдержать как продольное перекрытие, так и поперечное. Автор работы [6] считает, что продольное перекрытие снимков должно составлять 80...90%, чтобы в покрытии не было дыр в результате «болтанки» самолета в воздухе. Однако, по его мнению, в этом случае увеличивается число стереопар с одной (при продольном перекрытии 60%) до шести, что потребует значительно больше времени для обработки. Кроме того, минимальный угол засечки может составлять до 9° , что снизит результирующую точность.

Для беспилотных летательных аппаратов авторы работ [2; 6] рекомендуют выполнять съемку с продольным перекрытием $p = 80\%$ и поперечным $q = 40\%$. Мы разделяем мнение указанных авторов, так как полет БПЛА неустойчив, на него оказывают сильное влияние порывы ветра, турбулентность и другие факторы [2; 5]. Такие перекрытия позволят исключить фотограмметрические разрывы.

Снимки цифровых камер имеют прямоугольную форму. В работе [2] рекомендуют располагать камеру так, чтобы длинная сторона снимка размещалась поперек полета, что позволяет снять большую площадь при той же длине маршрутов. Но в этом случае уменьшается базис фотографирования и, следовательно, отношение базиса фотографирования B к высоте съемки H , что приведет к снижению точности определения отметок точек местности.

Дальнейшие расчеты произведем для выполненной нами съемки учебного корпуса № 3 Полоцкого государственного университета с БПЛА MAVIC PRO цифровой камерой FC-220 с фокусным расстоянием $f = 4,73$ мм [7] и матрицей в 12 МП (3000×4000) [8] с линейным размером одного пикселя $l = 1,3858$ мкм [9].

Рассчитаем отношение базиса фотографирования к высоте съемки B/H , когда длинная сторона снимка расположена поперек маршрута и вдоль маршрута. Приняв продольное перекрытие $p = 70\%$ и 80% , рассчитаем базис фотографирования B_x по формуле (1) и отношение B/H для случаев, когда длинная сторона снимка l_x и его короткая l_y расположены вдоль маршрута для масштаба съемки 1: $m - 1:11000$. Результаты приведены в таблице 1. При расположении длинной стороны снимка вдоль маршрута точность определения высот будет выше примерно в 1,4 раза, а увеличение процента перекрытия с 70 до 80% снизит точность определения высот более чем в полтора раза [10]. При продольном перекрытии 90% углы засечки будут менее 9° , о чем справедливо говорится в работе [6].

Таблица 1. – Расчет базиса фотографирования B_x , отношения B/H и угла засечки γ

$m, P\%$	$H, \text{ м}$	$l_x, \text{ мм}$	$B_x, \text{ м}$	B/H	$\gamma,^\circ$
11000 70%	52	5,5432	18,29	0,35	19,4
		4,1574	13,72	0,26	14,8
11000 80%	52	5,5432	12,20	0,23	13,2
		4,1574	9,15	0,18	10,0

Предположим, что необходимо выполнить аэрофотосъемку территории длиной $X = 200$ м и шириной $Y = 45$ м с продольным перекрытием $p = 70$ и 80% и поперечным перекрытием $q = 40\%$. Рассчитаем по формулам (1) и (2) число снимков в проекте $N = n_{\text{сн}} \cdot n_m$ при высоте полета $H = 52$ м. Число зарамочных снимков в маршруте n_3 примем равным трем, зарамочный маршрут – один. Значения базисов фотографирования возьмем из таблицы 1. Результаты расчета приведем в таблице 2.

Таблица 2. – Расчет числа снимков

m	l_y , мм	B_y , м	$n_{сн}$	n_m	N
11000	5,5432	36,59	14/19	3	42/60
	4,1574	27,44	18/25	3	54/75

В таблице 2 число снимков в маршруте $n_{сн}$ и общее число снимков N приведены через дробь, где в числителе для продольного перекрытия $p = 70\%$, а в знаменателе – для продольного перекрытия $p = 80\%$. То есть число снимков при продольном перекрытии 80% увеличилось почти на 36%, а при использовании короткой стороны поперек маршрута число снимков возросло на 39%. Пользователям придется выбирать либо выше точность и большее число снимков, либо точность ниже, но меньшее число снимков.

В ходе аэросъемки корпуса № 3 Полоцкого университета получено 62 снимка. Длинная сторона матрицы располагалась вдоль маршрута. Максимальный базис $B_x = 20,78$ м, минимальный – 3,97 м. Проекция длинной стороны кадра на местность составила 60,975 м, короткой стороны – 45,73 м. Произведено 4 маршрута съемки. Минимальное продольное перекрытие 62,7%, максимальное – 92,9%. Минимальное поперечное перекрытие 43,2%, максимальное – 72,8%. Непараллельность маршрутов составила от 0 до 1,12°. Прогиб первого маршрута – 3,6%, что можно считать приемлемым для беспилотных летательных аппаратов. «Елочка» доходила до 10°.

Снимки первого маршрута были смонтированы в накидной монтаж, которые подтвердили приведенные выше значения.

Для обеспечения заданного процента продольного перекрытия необходимо вычислить интервал фотографирования τ по следующей формуле [3]:

$$\tau = \frac{B_x}{W}, \quad (3)$$

где W – путевая скорость летательного аппарата.

Путевая скорость W составила 2,4 км/ч (0,667 м/с). Аэросъемка выполнялась в безветренную погоду. Расчетный интервал фотографирования τ – 18,3 с. Для расчета интервала фотографирования базис фотографирования B_x принят по данным таблицы 1 при продольном перекрытии 80%. Вычисленный интервал устанавливают на командный прибор, который автоматически выполняет съемку (если есть такая возможность) или через рассчитанный интервал дают команду на съемку с пульта. В нашем случае экспонирование выполнялось вручную с пульта дистанционного управления, а не через рассчитанный интервал фотографирования, так как программное обеспечение дрона не позволяло задавать автоматический интервал фотографирования. Схема маршрутов и расположение центров фотографирования на маршрутах показаны на рисунке 1.

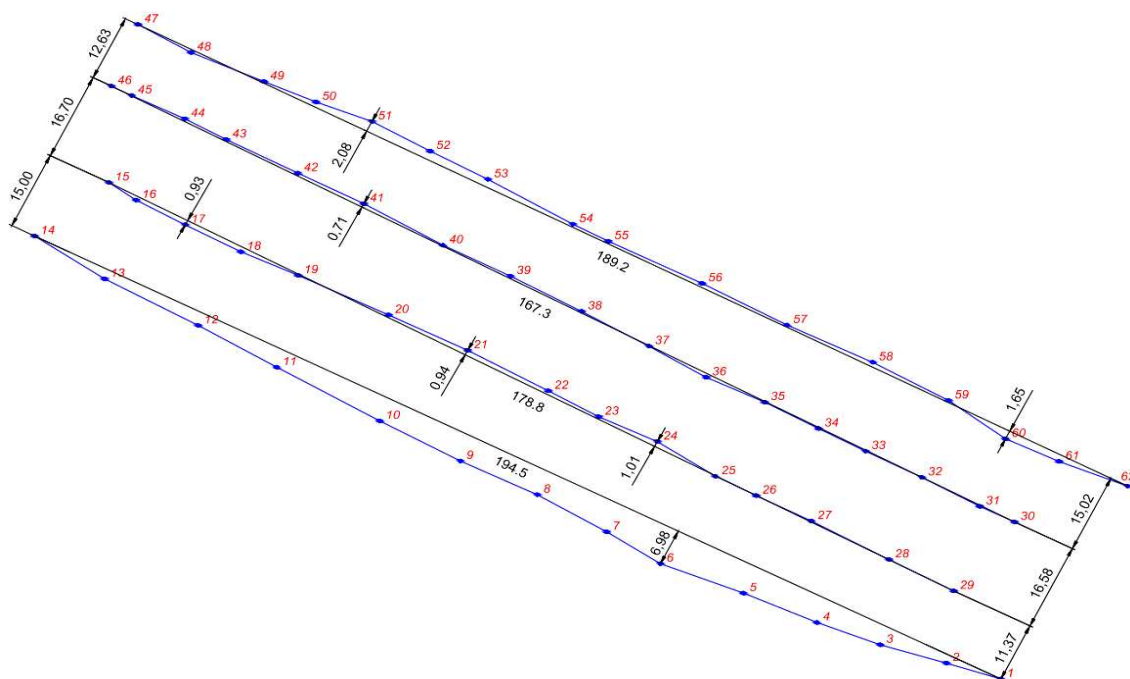


Рисунок 1. – Схема маршрутов

Обработка данных производилась в программном продукте Agisoft Photoscan. После уравнивания в Agisoft Photoscan для пользователя имеется возможность посмотреть углы поворота: либо курс, тангаж и крен для каждого снимка, либо продольный угол наклона ϕ , поперечный угол наклона ω и угол разворота снимка в своей плоскости κ .

Курсом самолета называют угол между северным направлением истинного или магнитного меридиана, отсчитанный по ходу часовой стрелки до продольной оси самолета от 0 до 360°. Если угол определяется от магнитного меридиана, курс называется магнитным, если от истинного – истинным курсом [3].

В нашем случае использовался магнитометр, следовательно, определялся магнитный курс.

В руководстве пользователя [7] представлена информация о курсе самолета. Однако расчеты показывают, что термин «курс», используемый разработчиками программного продукта, отличается от общепринятого. Выясним, какой угол разработчики называют курсом.

Согласно [7], Agisoft Photoscan требует, чтобы в ходе аэросъемки координаты центров фотографирования были определены по данным GPS-приемника, который определяет их в системе координат WGS-84. Чтобы перейти в систему координат WGS-84, опорные точки нами были заданы в системе координат СК-42. Параметры связи этих систем координат известны. Система координат СК-42 является левой. Расположение осей координат, параллельных системе координат СК-42 $X_{СК}$ и $Y_{СК}$, показано на рисунке 2.

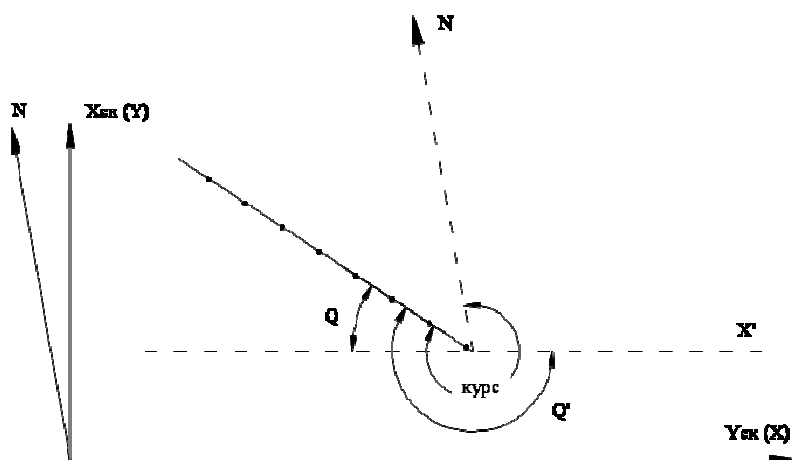
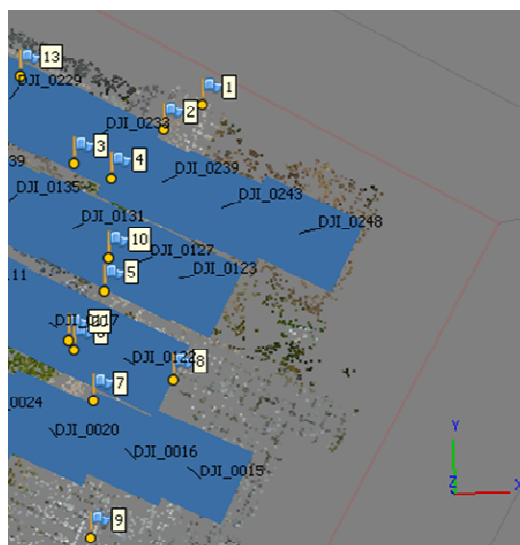


Рисунок 2. – Направление полета относительно принятой системы координат

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: N – направление на север магнитный; (X) и (Y) – принятые разработчиками программы направления осей координат; θ – угол, который выдает программа и который никоим образом не является курсом – это угол относительно принятой разработчиками программы Agisoft Photoscan системы координат, что подтверждает рисунок 3, созданный по результатам обработки.



X – восточное указание; Y – северное указание; Z – высота

Рисунок 3. – Фрагмент графического окна Agisoft Photoscan

Как видим, авторы программы Agisoft Photoscan поменяли оси X и Y местами, возможно, вследствие того, что в фотограмметрии используются правые системы координат и нет необходимости пересчитывать в левую СК. Однако возможно и допустить ошибку, так как в каталогах заданы координаты в системе координат Гаусса – Крюгера, которая является левой системой координат.

В любом случае необходимо было в руководстве пользователя [7] указать, как перейти в принятую ими систему координат, когда пользователи имеют другие системы координат.

Топографические карты в нашей стране и других странах созданы в поперечно-цилиндрической проекции Гаусса – Крюгера. Цилиндрические проекции подразделяются на нормальные, поперечные и косые в зависимости от взаимного расположения оси вращения сфероид (Земли) и оси цилиндра на который проецируется местность. В нормальной цилиндрической проекции ось цилиндра совпадает с осью вращения Земли; в поперечно-цилиндрической проекции ось цилиндра перпендикулярна оси вращения Земли; в косой – ось цилиндра составляет некоторый угол с осью вращения Земли [11]. Проекция Меркатора не является поперечно-цилиндрической, это нормальная цилиндрическая проекция. Меркатор жил в XVI веке. Возможно, так назвали проекцию в память о выдающемся картографе и разработчике цилиндрической проекции. Поперечную цилиндрическую проекцию впервые описал Ламберт в 1772 году [14]. В 1822 году эту проекцию описал Гаусс и математик Крюгер, откуда и произошло название «проекция Гаусса – Крюгера» [14]. В 1903 году в косой картографической проекции впервые создана карта Швейцарии [14]. В XIX веке шведский священник Джеймс Галл использовал секущий цилиндр. Эта проекция носит название проекции Галла [14].

Многими национальными и картографическими организациями применяется проекция UTM (Universal Transverse Mercator) – универсальная поперечная проекция Меркатора [12]. В проекции UTM, как и в проекции Гаусса – Крюгера, применяют 6-градусные зоны, но отсчет зон ведется от 180° долготы, а не от Гринвичского меридиана, как в проекции Гаусса – Крюгера. В проекции Гаусса – Крюгера частный масштаб на осевом меридиане $m_0 = 1$, а в проекции UTM $m_0 = 1$ на линиях, параллельных осевому меридиану, как показано на рисунке 4, т.е. проецирование ведется на секущий цилиндр.

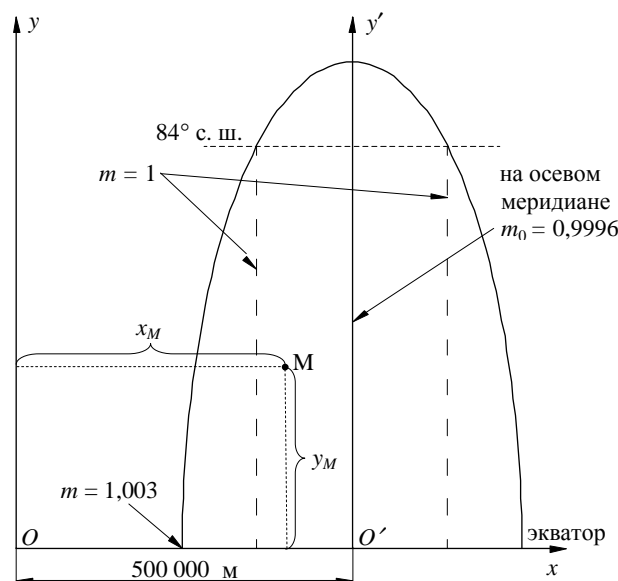


Рисунок 4. – система координат UTM

Как видим, в проекции UTM используется правая система координат, возможно, поэтому разработчики программы Agisoft Photoscan используют именно эту систему координат, но об этом нигде не сказано. Иногда в интерфейсе программы, чтобы не допустить ошибку, координаты обозначают N, E (Север, Восток), как показано на рисунке 5.

Маркеры	Восточное указание (м)	Северное указание (м)
<input type="checkbox"/> 1	5604189.476000	6157389.832000
<input checked="" type="checkbox"/> 2	5604182.070000	6157385.399000
<input type="checkbox"/> 3	5604165.179000	6157379.450000
<input type="checkbox"/> 4	5604172.006000	6157376.505000

Рисунок 5. – Представление координат в Agisoft Photoscan

В России проекция Гаусса – Крюгера разработана применительно к эллипсоиду Красовского. Проекция UTM разработана в США [12]. В настоящее время в основе системы лежит эллипсоид WGS-84 [13]. WGS-84 (World Geodetic System 1984) – глобальная система геодезических параметров Земли, принятая на момент 1984 года с целью геодезического обеспечения ориентиров в мировом пространстве; WGS-84 используется в системе спутниковой навигации GPS-84 [13]. Возможно, поэтому в Agisoft Photoscan принята правая система координат.

Как отмечают авторы работы [2], на борт БПЛА устанавливают дешевые GPS-приемники, точность определения координат центров проекции в этом случае составляет 20...30 м. Использование только координат центров фотографирования, полученных по данным GPS, приведет к снижению точности окончательных результатов.

Авторы работ [2; 15] вместо термина «курс» используют термин «рыскание». Авторы работы [16] отмечают, что «рыскание» – это небольшие угловые движения летательного аппарата относительно вертикальной оси. В работе [17] отмечается, что угол «рыскание» сходен с курсом, но отсчитывается относительно выбранной системы координат. Термин «рыскание», упоминаемый в работах [2; 15], более применим вместо термина «курс». Понятия крен, тангаж и курс связаны с самолетом. Судя по текстам [2; 15], при помощи гироскопа определяются углы крена, тангажа и рыскания. А так как цифровая камера жестко связана с беспилотником, то в какой-то мере углы крена, тангажа и рыскания будут отражать продольные и поперечные углы наклона снимка и его угол разворота.

По результатам уравнивания программа выдает углы курса, тангажа и крена на объект съемки. На рассматриваемом объекте так называемый «курс» колеблется от 27,33 до 30,88° и от 209,21 до 210,94° в зависимости от направления полета; тангаж – от 2,46 до 3,62°; значения крена изменяются от –0,14 до 0,39°. Расхождения углов по курсу составили от 3,55 до 1,73° в зависимости от направления полета; по тангажу – 1,18°; по крену – 0,53°.

Можно вместо курса, тангажа и крена вывести на экран углы φ , ω и κ , но они находятся в диапазоне ω от +3,26° до –3,01°; φ – от –1,68 до +1,54°; κ – от –29,48 до –25,92° и от 150,54 до 152,19°.

Угол φ идентичен тангажу, угол ω идентичен крену, угол κ почему-то идентичен курсу. $\Delta\varphi = 3,22^\circ$ $\Delta\omega = 6,27^\circ$ и $\Delta\kappa = 180,02^\circ$ и $\Delta\kappa = 178,11^\circ$, где Δ – разности углов.

Как видим, получены значительные расхождения между углами курса, тангажа и крена, а также продольным φ , поперечным ω и углом разворота снимков κ . Возможно, что оптическая ось фотокамеры была установлена не перпендикулярно системе координат БПЛА, имели место установочные ошибки, но почему-то в ходе уравнивания расхождения углов оказались разные.

Углы для первых восьми снимков, а также их разности, полученные вычитанием от углов последующего снимка углов предыдущего, приведены в таблицах 3 и 4. Разности углов должны быть свободны от систематических ошибок.

Таблица 3. – Углы φ , ω , κ и разности углов, в градусах

№ снимка	φ	$\Delta\varphi$	ω	$\Delta\omega$	κ	$\Delta\kappa$
1	–1,561		3,189		–25,929	
2	–1,598	–0,037	3,126	–0,062	–26,112	–0,182
3	–1,685	–0,087	3,064	–0,062	–26,414	–0,302
4	–1,510	+0,175	2,947	–0,117	–27,479	–1,065
5	–1,625	–0,115	2,841	–0,106	–28,225	–0,746
6	–1,621	+0,004	2,955	+0,114	–28,104	0,121
7	–1,485	+0,136	2,993	+0,038	–28,416	–0,312
8	–1,253	+0,232	2,510	–0,483	–28,750	–0,334

Таблица 4. – Углы тангаж, крен и курс и разности углов, в градусах

№ снимка	Тангаж	Разность	Крен	Разность	Курс	Разность
1	3,550		–0,008		27,332	
2	3,510	–0,040	–0,057	–0,050	27,513	0,181
3	3,494	–0,016	–0,145	–0,043	27,815	0,131
4	3,311	–0,183	0,022	0,167	28,879	1,064
5	3,271	–0,039	–0,087	–0,109	29,622	0,743
6	3,370	0,099	–0,037	0,050	29,503	–0,118
7	3,339	–0,031	0,0120	0,157	29,817	0,313
8	2,803	–0,0536	0,109	0,011	30,139	0,322

Анализ данных таблиц 3 и 4 показал, что углы значительно отличаются между собой, свидетельствуя тем самым о систематических ошибках установки оптической оси фотокамеры относительно системы координат дрона.

Для сопоставления углов φ , ω и κ с углами тангажа, крена и курса определим взаимные углы между снимками, которые представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Сопоставление разностей углов в градусах

Точки	$\Delta\varphi$	Тангаж	Δ	$\Delta\omega$	Крен	Δ	$\Delta\kappa$	Курс	Δ
1...2	-0,037	-0,040	0,003	-0,062	-0,050	-0,012	-0,182	0,181	-0,363
2...3	-0,087	-0,016	-0,071	-0,062	-0,043	-0,019	-0,302	0,131	-0,433
3...4	0,175	-0,183	0,358	-0,117	0,167	0,284	-1,065	1,064	-2,129
4...5	-0,115	-0,039	-0,154	-0,106	-0,109	0,003	-0,746	0,743	-1,489
5...6	+0,004	0,099	-0,095	0,114	0,050	0,064	0,121	-0,118	0,239
6...7	+0,136	-0,031	0,167	0,038	0,157	-0,119	-0,312	0,313	0,625
7...8	+0,232	-0,536	0,768	-0,483	0,011	-0,494	-0,334	0,322	0,656

Как видим, разности углов $\Delta\varphi$ и тангажа, а также $\Delta\omega$ и крена не превышают 1° , а разности углов $\Delta\kappa$ и курса превышают 2° . Данные таблицы 5 свидетельствуют о значительных расхождениях. Причем уравнивание сети выполнялось по одним и тем же опорным и связующим точкам при одинаковом их количестве. Возможно, это объясняется тем, что углы тангажа, крена и рыскания определяют с точностью, превышающей 10° , и содержат систематические ошибки, что, по мнению автора работы [2], усложняет последующую обработку.

Разработчики Agisoft Photoscan утверждают, что программа отличается высокой степенью автоматизации выполняемых операций и не требует специальной квалификации для работы с ней – достаточно иметь общее представление о фотограмметрии.

Авторы работы [7] отмечают, что можно получить надежные результаты оператором без знания фотограмметрии и опыта обработки данных. Однако в руководстве пользователя Agisoft Photoscan и в открытом доступе нет алгоритма, в соответствии с которым создан данный программный продукт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэрофотосъемочные работы / А.А. Попов [и др.]. – М. : Транспорт, 1984. – 200 с.
2. Сечин, А.Ю. Беспилотный летательный аппарат / А.Ю. Сечин, М.А. Дракин, А.С. Киселева. – М. : Ракурс. – 2011. – Часть 2 : Применение в целях аэросъемки для картографирования. – 12 с.
3. Савиных, В.П. Аэрокосмическая аэрофотосъемка / В.П. Савиных, А.С. Кучко, А.Ф. Стеценко. – М. : Картгеоцентр ; Геодезиздат, 1997. – 378 с.
4. Байков, Н.С. Самолетовождение при аэросъемке / Н.С. Байков, М.А. Трясучкин, В.А. Иванов – М. : Недра, 1973. – 232 с.
5. Коровин, Д.С. Обоснование и разработка метода оценки объема угольного склада на основе аэросъемки с применением беспилотных летательных аппаратов : дис. канд. техн. наук / Д.С. Коровин ; ФИЦ УУХ СО РАН. – Кемерово, 2017.
6. Рубцов, Н.Э. Обработка данных в программе UASMaster / Н.Э. Рубцов // Геоматика. – М., 2014. – № 1. – С. 34–44.
7. Agisoft Photoscan : рук. пользователя, 2016. – 113 с.
8. MAVIC PRO : рук. пользователя, 2017. – 60 с.
9. Михеева, А.А. Анализ разрешающей способности снимков, полученных с беспилотного летательного аппарата / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов, П.Ф. Парадня // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 185–193.
10. Михеева, А.А. Анализ точности определения координат точек местности по снимкам, полученным аэрокамерой ADS-100 / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов, Е.В. Лакотко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 16. – С. 162–171.
11. Вахромеева, Л.А. Картография / Л.А. Вахромеева. – М. : Недра, 1981.

12. Система координат UTM // Википедия : свободная энцикл. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
13. Википедия: свободная энцикл. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/WGS 84](https://ru.wikipedia.org/wiki/WGS_84).
14. Ибанс, Рауль. Мечта об идеальной карте. Картография и математика [Электронный ресурс] / Рауль Ибанс. Т. 26. – Режим доступа: <https://librolife.ru/g4363610>.
15. Зинченко, О.Н. Беспилотный летательный аппарат : Применение в целях аэрофотосъемки для картографирования / О.Н. Зинченко. – М., 2011. – 12 с.
16. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Сов. энциклопедия, 1985. – 1600 с.
17. Рыскание // Википедия : свободная энцикл. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

Поступила 20.12.2018

AERIAL PHOTO WITH A UNMANNED AIRCRAFT

A. MIKHEEVA, V. YALTYKHOV, P. PARADNYA

The paper considers possibility of using images obtained from an unmanned aerial vehicle MAVIC PRO with a digital camera FC-220 for mapping tasks. The study is based on the example of the shooting of educational building № 3 of Polotsk State University. The number of images and the angle of the serif are calculated depending on the projected parameters of aerial surveys. The paper shows that in the case when the short side of the image is located along the route, the accuracy of the final results is lower, but also the smaller number of images received. Data processing was performed in the Agisoft Photoscan software package. The article analyzes the obtained angular elements of exterior orientation of images. The features of the choice and use of coordinate systems in this software product are considered. The focus is on the inconsistency of the terminology used by the developers of Agisoft Photoscan, with the generally accepted terms in navigation, photogrammetry and other branches of geodetic production.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, digital camera, course line, roll, pitch, overlap.*