

Тюменцев Андрей Игоревич, студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет, г. Иркутск

Калугина Анастасия Максимовна, студентка,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет, г. Иркутск

Кириков Данил Александрович, студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет, г. Иркутск

Фёдоров Вадим Сергеевич, студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет, г. Иркутск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ КАРЬЕРОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ ГЛУБИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БПЛА

Аннотация: В статье рассмотрено применение беспилотных летательных аппаратов, необходимые параметры для осуществления съёмки данной технологией, и создания ортофотоплана. Выполнено сравнение точности полученных данных при помощи спутниковых навигационных систем и аэрофотосъёмки.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, аэрофотосъёмка, маркшейдерия

Программно-аппаратные комплексы, используемые при маркшейдерских работах на карьерах, основаны на совокупности организационно-технических и методических требований, что определяет новую задачу обоснования для внедрения технологических решений на горных предприятиях. В последние 10 лет активно применяются беспилотные аэро-комплексы и системы, позволяющие получать в оперативном режиме цифровые модели местности и ортофотопланы территорий. На сегодня количество типов и видов БПЛА достигает сотни единиц, таким образом, возникает проблема выбора и использования конкретного БПЛА на карьерах.

Технология по применению беспилотного аппарата для решения маркшейдерско-геодезических задач используется многими предприятиями. Также, данная технология применяется во многих других отраслях. Применение данной технологии заключается в получении данных с воздуха. Применение фотограмметрического метода при помощи летательного аппарата, также можно называть дистанционное зондирование земли.

Процесс проведения съёмки с беспилотного летательного аппарат состоит из:

– полевых работы – это подготовка и запуск беспилотника, фотографирование участка во время полета с соблюдением допустимого перекрытия кадров (процент перекрытия задаётся в параметрах полёта, показан в таблице 1) [1].

– процесс камеральной обработки начинается с экспорта фотографий с беспилотника и импорта в специальное программное обеспечение. После импорта выполняется выравнивание фотографий, контроль полученного облака точек с опознавательными знаками, переход в нужную систему координат и создание ортофотоплана [1].



Схема выполнения съемки с помощью БПЛА



Рисунок 1 – Технологическая схема съемки с БПЛА



Рисунок 2 – Пример полёта БПЛА



Табл. 1

Номинальные значения проектируемых перекрытий при создании топографического плана территории

Высота зданий относительно средней плоскости (от высоты фотографирования)	Номинальные значения проектируемых перекрытий аэрофотоснимков, %			
	Продольное		Поперечное	
≤0,05	74	76	57	60
≤0,10	75	77	60	62
≤0,15	77	79	62	64
≤0,20	79	81	65	67

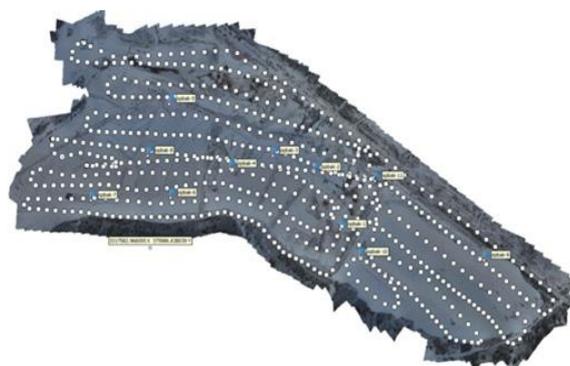


Рисунок 3. Маршрут полёта БПЛА

Параметры калибровки фотокамеры определяются с помощью ПО Agisoft Metashape Professional, в котором реализована возможность вычисления в результате уравнивания блочной сети фототриангуляции следующих параметров фотограмметрической калибровки:

- фокусного расстояния фотокамеры (f);
- координат главной точки снимка (x_0, y_0);
- коэффициентов радиальной дисторсии ($K1, K2, K3$);
- коэффициентов тангенциальной дисторсии ($P1, P2$), соответствующих моделей дисторсии, описываемой следующими выражениями: [6].

$$X^1 = X(1 + K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6) + 2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2) \quad (1)$$

$$Y^1 = Y(1 + K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6) + p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy \quad (2)$$

где x, y – координаты, отсчитываемые от главной точки снимка, свободные от дисторсии, например, вычисленные по пространственным координатам точки местности [2].

Табл. 2

Коэффициенты калибровки и матриц корреляции

	Значение	Ошибка	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3642,69	0,26	1	0,04	-	0,78	0,09	-	0	0,02	-	-	0,07
					0,94			0,03			0,04	0,03	
Cx	-25,215	0,057		1	-	0,05	0,73	0,01	-	0,02	-	0,48	0,01
					0,06				0,02		0,02		
Cy	39,9218	0,2			1	-	-	-	0,04	-	0,08	0,02	0
						0,91	0,12	0,02		0,06			
B1	-6,84321	0,038				1	0,11	0,02	-	0,07	-	-	0,16
									0,06		0,08	0,03	



B2	0,0671	0,019					1	0,01	-	0,02	-	0,01	0
K1	0,010356	$7,5 \times 10^{-5}$						1	-	0,91	-	0,01	0
K2	-	0,0041							1	-	0,95	-	-
K3	0,129555	0,0089								0,99	-	0,01	0,07
K4	-	0,0065									1	-	-
P1	-	$2,9 \times 10^{-6}$										1	-
P2	0,001744	$3,4 \times 10^{-6}$											1

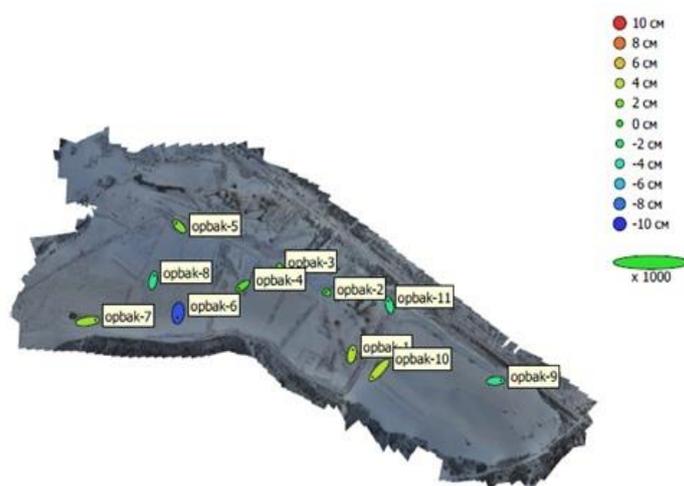


Рисунок 4 – Схема положения опорных и контрольных точек и оценка ошибок

Расположение знаков выбирают следующим образом: обязательное наличие опознавательных знаков по углам планируемого участка работ и равномерное расположение по внутренней площади работ. Количество необходимых пунктов с учетом масштаба приведено (в таблице 1.)

Табл.3

Необходимое количество опознавательных знаков

Масштаб / сечение рельефа	5000/2	2000/1	1000/0,5	500/0,5	500/0,5
Количество точек на 1 км.кв	0,5	1	3	5	7
Требования к точности определения координат опознавательных знаков в плане и по высоте	20 см	10 см	5 см	5 см	3 см



Табл. 4

Опорные точки					
Название	Ошибка, X (см)	Ошибка, Y (см)	Ошибка, Z (см)	Общая (см)	Снимок (пикс)
орбак-1	0,655685	2,97592	3,58969	4,70871	0,501 (12)
орбак-2	-0,539679	0,225011	0,62076	0,852776	0,284 (10)
орбак-3	1,1012	-2,95284	0,781782	3,24702	0,434 (10)
орбак-4	-2,5915	-1,64538	0,990845	3,22567	0,344 (10)
орбак-5	-2,11994	2,06588	2,34679	3,77749	0,511 (5)
орбак-6	-0,368525	-2,85074	-9,02548	9,47216	0,217 (12)
орбак-7	5,36081	0,760543	3,06426	6,22144	0,560 (10)
орбак-8	0,707018	3,20579	-2,76528	4,29229	0,480 (10)
орбак-9	3,63331	0,22525	-2,46235	4,39486	0,194 (8)
орбак-10	-4,45959	-4,58731	3,78304	7,43255	0,696 (15)
орбак-11	-0,70969	2,8096	-2,52882	3,84609	0,574 (17)
Общая	2,63042	2,56854	3,63864	5,17264	0,479

Табл.5

Координаты, полученные с помощью GPS/ГЛОНАСС приемниками и полученные с цифровой модели рельефа ЦМР.

Номер контр. Точки	Геодезический GPS/ГЛОНАСС приемник	Номер контр. Точки	Цифровая модель рельефа	Разность между объектами
Имя	Z, м	Имя	Z, м	ΔZ , м
орбак-1	147,088	1	147,24	0,15
орбак-2	147,113	2	147,09	0,02
орбак-3	139,303	3	139,41	0,11
орбак-4	137,722	4	137,99	0,27
орбак-5	139,477	5	139,5	0,02
орбак-6	137,792	6	137,84	0,05
орбак-7	139,239	7	139,34	0,1
орбак-8	138,697	8	138,68	0,02
орбак-9	145,305	9	145,31	0
орбак-10	138,221	10	138,34	0,12
орбак-11	147,254	11	147,21	0,04

В результате обработки полевых данных мы получаем ортофотоплан и плотное облако точек. Эти данные можно использовать для решения маркшейдерско-геодезических задач в широком спектре ГИС программ. На рисунке 5. показан пример поверхности (модели), построенной по плотному облаку точек.



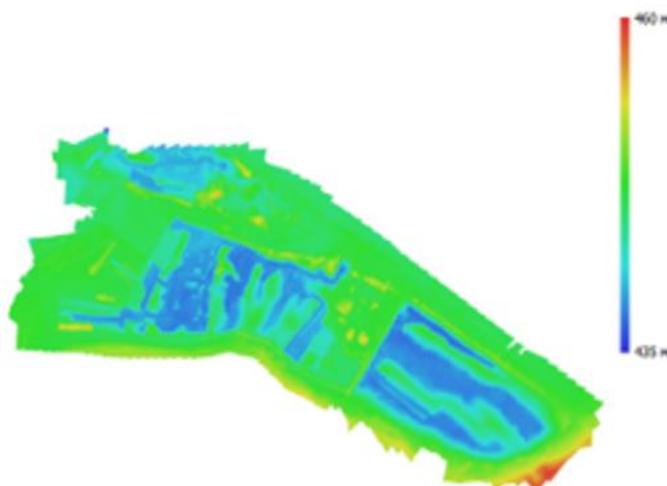


Рисунок 5 – Рассчитанная цифровая модель местности

Применение описанной выше технологии позволяет получать данные для построения топографических планов застроенной территории вплоть до масштаба 1:500 и имеет следующие преимущества перед использованием дорогостоящих профессиональных беспилотных дронов и лазерных сканеров:

- Низкая стоимость;
- Легкость перевозки и простота управления дроном;
- Оперативность получения информации;
- Минимальное привлечение труда оператора, сокращение объемов полевых работ;
- Детальность и точность данных.

Список литературы:

1. Оника, С. Г. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения инженерных задач маркшейдерии и геодезии / С. Г. Оника, О. Е. Куликовская, Ю. Ю. Атаманенко // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 15-21.
2. Маркшейдерия: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Маркшейдерское дело" направление подготовки дипломированных специалистов "Горное дело" / Б. П. Голубко, В. А. Гордеев, В. Н. Яковлев; под ред. В. А. Гордеева; Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО "Уральский гос. горный ун-т". – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010-. – 21 см.
3. Современные технологии маркшейдерского обеспечения открытых горных работ: учебное пособие для очной и заочной форм обучения / Л. А. Усольцева, В. П. Лушпей, А. А. Григорьев [и др.]. – Издание 2-е. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2019. – 84 с
4. Коровин Д.С. Обоснование и разработка метода оценки объёма угольного склада на основе аэрофотосъёмки с применением беспилотных летательных аппаратов. Дис. раб. к.т.н. г. Кемерово – 2018. 126 с.
5. Тайлаков, О. В. Особенности фотограмметрической обработки аэрофотоснимков открытого угольного склада при использовании беспилотных летательных аппаратов / О. В. Тайлаков, Д. С. Коровин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 5 (117). – С. 3-7.

