

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЁМОВ ПОВЕРХНОСТИ КАРЬЕРА, РАЗРЕЗА ИЛИ РУДНИКА

С.С. Сайидкосимов профессор, заф. кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», ТашГТУ;

А.А. Абдуазизов доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, к. г-м.н., Таш ГТУ;

Ю. Ч. Тен главный специалист «ГУП УзГАШКЛИТИ», старший преподаватель кафедры Геодезии и геоинформатики ТИИИМСХ.

О.Р. Алланазаров старший преподаватель кафедры «Маркшейдерского дела и геодезии» ТашГТУ;

А.А. Абдукаримов магистр 2-курс кафедры «Маркшейдерского дела и геодезии» ТашГТУ;

Аннотация: Настоящая статья знакомит с возможностью применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для мониторинга открытых горных работ. Одной из задач статьи является изучение возможности и использования БЛА для построения крупномасштабной цифровой объёмной модели поверхности карьера для измерения объёмов запаса гольных разрезов.

Ключевые слова: HD-камер, MAGNET Tools, модел, рельеф, снимка, привязка, координата, CPS, ГЛОНАСС, Agisoft PhotoScan.

Технологии, основанные на аэрофотограмметрических методах, вышли на новый уровень с появлением беспилотных летательных аппаратов и HD-камер. Современные беспилотные воздушные системы (БВС) включают в себя: беспилотный летательный аппарат, цифровую камеру и программное обеспечение для автоматического управления аэрофотосъёмкой. Благодаря высокодетальным снимкам с цифровых камер для аэрофотосъёмки, удастся снизить стоимость трудоёмких полевых работ, сократить сроки их выполнения и автоматизировать процесс получения данных [1].

Одним из трудоёмких процессов является съёмка карьеров горнодобывающего предприятия с целью правильного подсчета запасов полезного ископаемого, текущее и перспективное планирование горных работ, контроль за правильным и безопасным проведением горных выработок, учет и контроль объёмов производства производимых горных работ.

Отсутствие наблюдения и периодического контроля сдвижения земной поверхности и устойчивости уступов, бортов и отвалов может привести к катастрофическим последствиям - гибели людей, утрате дорогостоящего оборудования и нанесению ущерба экологии. В связи с тем, что в процессе горных выработок происходят постоянные изменения в ландшафте разреза, очень важна периодичность проводимых мероприятий, причем, как правило, на одних и тех же участках [2].

Исходя из результатов аэрофотосъёмки с БЛА, можно создать топографический план местности. Это трехмерное фото карьера, которая снята с подробной визуализацией всех залежей, обвалов, склонов. Также выводится информация об уровне высоты местности, схеме рельефа, рисках смещения- и т. д. Для более точного определения высоты требуется (маркировка) привязка опорных точек для получения наиболее точных результатов фотограмметрической обработки, необходимо до залета маркировка плано-высотных опознаков.

Привязка требуемой точности достигается измерением координат центров фотографирования с использованием высокоточных геодезических GNSS-приемников в пределах базовой станции задействованием с наземной опорной сети во время полета БЛА, точки которой привязаны с погрешностью не выше 10 см. Желательно использование на борту IMU, имеющего высокой точности. Обработку по привязке координат центра снимка в момент фотографирования выполняется в программном обеспечении MAGNET Tools.

Для точности отображения контуров и высот на ортофотопланах предъявляются достаточно высокие требования, определяемые действующими

нормативными документами [7].

В связи с этим для соблюдения определенной практической точности высот цифровых моделей рельефа (ЦМР) и цифровых моделей местности (ЦММ), по материалам аэрофотосъемки с БЛА и использованием современных компьютерных методов фотограмметрической обработки снимков производится маркировка плано-высотных опознаков перед залетом, таблица 1.

Требования к плано-высотному обоснованию опознаков для аэрофотосъемки с БЛА

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

Для маркировки в качестве опознаков возможно использование крестообразных шаблонов белого цвета шириной 10-15 см и длиной 50-60 см. Применение одноразовых тарелок в качестве точек ПВО наиболее целесообразно, так как такие точки хорошо дешифрируются на цифровом снимке и имеют размер 4-5 пикселей. Координаты и высоты опознаков (центр тарелки) будут определены GNSS приёмниками от пунктов опорного геодезического обоснования или устройство опознака на местности диаметром 40 см шириной 10 см и глубиной 10 см засыпается влажным алебастром и центр круга 10 см на глубину 10 см засыпается влажным алебастром. Координаты и высоты опознаков (центр 10 см круга) будут определены GNSS приёмниками от пунктов опорного геодезического обоснования, см рис 1.



Рис.1

После добычи горных пород проводится повторная съемка подробностей карьера. Это позволит узнать:

- количество добытой руды;
- сколько тонн насыпанной земли теперь на поверхности;
- глубину ущелий, образовавшихся после проведения работ;
- количество оставшейся полезной руды в земле;
- устойчивость поверхности на местности.

Технологическая схема аэрофотосъемки с БЛА производится в несколько этапов: подготовительные, камеральные работы и составление лётного задания; маркирование опорных точек (до залета, вне населенных пунктов т.е. где отсутствуют твердые контура) и выполнение лётного задания (полевые работы) и плановая высотная привязка аэроснимков на местности; камеральная обработка полученных материалов, см технологическая схема применяемая в ГУП «УзГАСХЛИТИ» рис.2.



Рис. 2

Для оценки качества выполненных аэрофотосъемочных работ производится накидной монтаж полученных цифровых аэрофотоснимков с использованием программы аэрофотосъемочных расчетов. При создании накидного монтажа каждый аэрофотоснимок отображается на цифровой карте. Расположение аэрофотоснимков на карте и их масштаб определяются координатами центральной точки аэрофотоснимка, углом азимута и высотой, полученными в момент фотографирования по данным бортового GPS-приемника.

По результатам анализа накидного монтажа программой аэрофотосъемочных расчетов формируется отчет в виде формализованного документа, который вместе с материалами аэрофотосъемки прилагаются к акту выполненных работ для осуществления фотограмметрических работ.

В фотограмметрической обработке в программе Agisoft PhotoScan производится привязка координат и высот маркированных опознаков, затем выполняется процедура оптимизации выравнивания камер для повышения точности расчета параметров внутренней и внешней ориентации камеры, чтобы скорректировать возможные искажения (такие как бочкообразная дисторсия и другие). Этот этап обработки особенно рекомендуется в том случае, когда координаты опорных (планово-высотных опознаков) точек известны с высокой точностью (с погрешностью в несколько см.).

Основываясь на рассчитанных положениях камер программа вычисляет карты глубины для каждой камеры и строит плотное облако точек. На основании полученного плотного облака точек строится трехмерная полигональная модель. Для создания модели с высоким разрешением геометрии модель оптимизируют.

Для расчета остатков полезных ископаемых на карьерах используют данные маркшейдерской съемки, проводимой с помощью электронных тахеометров, наземных лазерных сканеров и геодезических GPS/ГЛОНАСС приемников применение которых трудоемко, не оперативно и не рентабельно. Вместе с тем, внедрение в практику хозяйственной деятельности предприятий беспилотных летательных систем для аэрофотосъемки, которые позволяют оперативно получать графическое отображение трехмерной модели земной поверхности, можно отнести к значительным технологическим новшествам в маркшейдерии и геодезии. Цифровые модели строения земных недр карьеров, разрезов или рудников сделанные с применением БЛА, более точны и подробны (информативны), чем съёмки, полученные традиционными наземными съемками.

Анализ практического опыта применения программной реализации традиционных методов расчета объемов открытых карьеров по данным аэрофотосъемки с помощью беспилотных систем показывает, что существующие подходы имеют погрешность измерения до 25 % и не могут применяться для корректной оценки остатков полезного ископаемого. Поэтому, актуальным является разработка подхода, позволяющего проводить независимые, достоверные и оперативные геометрические измерения пространственно-временных характеристик открытого угольного разреза [3].

Для измерения объема угольного разреза необходимо построить матрицу высот его поверхности (рис.3) [4, 5]. С помощью стереорежима отображения снимков на цифровой фотограмметрической станции с режимом трассировки точек его основание было ограничено векторным полигоном [3].

Для более высокого получения матрицы карт высот необходимо аэрофотосъемку выполнять с 80% продольным и 50% поперечным перекрытием, что позволит иметь тройное перекрытие аэроснимков.

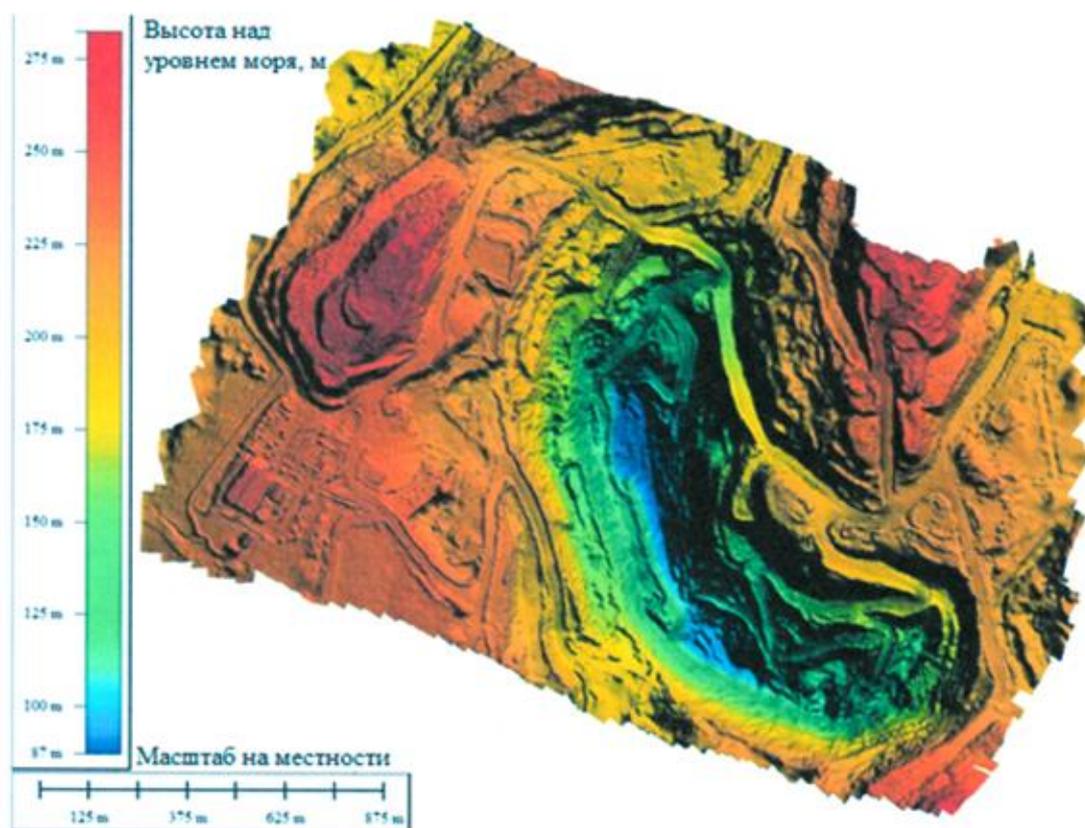


Рис.3 - Карта высот над уровнем моря рельефа территории угледобывающего предприятия и открытого угольного склада, полученная в результате фотограмметрической обработки аэрофотоснимков [3].

Как видно, применение высокотехнологичных методов аэрофотосъемки с применением БЛА в сочетании с компьютерной обработкой отснятого аэрофотоматериала в программе Agisoft PhotoScan, позволяет автоматизировать значительную часть задач маркшейдерской службы и качественно улучшает оперативный контроль за выполнением горных работ и представляет новый технологический уровень работы по подготовке маркшейдерской основы, необходимой для перспективного планирования и принятия управленческих решений.

Выводы

Так при использовании специализированного программного обеспечения и следование рекомендации для получения максимальной точности результатов съемки, которое состоит в следующем:

- Использование на БЛА калиброванные камеры;
- Выполнение съемки с выдержкой не длиннее 1/250с;
- Использование объектива с фиксированным фокусным расстоянием. Если это невозможно, следует фиксировать увеличение (200x). Съемка должна производиться с фокусировкой на бесконечность и с отключенным режимом автофокусировки;
- Проектирование съемки с увеличенными перекрытиями (80% вдоль, 50% поперек маршрута);
- Желательно использовать камеры с центральным затвором;
- Желательно использовать двухдиапазонные GPS приемники на борту и дифференциальный режим измерений;
- Желательно использование автопилота на борту IMU, имеющего высокой

точности.

Позволит автоматизировать основную трудоёмкую часть маркшейдерской работы, для определения объёмов карьеров, наблюдения и периодического контроля сдвижения земной поверхности и устойчивости уступов, бортов и отвалов, постоянные изменения в ландшафте разреза. Качественно улучшает оперативный контроль за ходом ведения горных работ и представляет современный уровень маркшейдерской работы по подготовке геометрической основы, необходимой для перспективного планирования и принятия управленческих решений.

Библиографический указатель:

- 1.Статья подготовленная пресс-службой компании Bentley Systems.
- 2.Заверткин С.А. Маркшейдерское обеспечение с высоты птичьего полета. УДК 778.35:622.1:528 © С.А., 2017 г.
- 3.Коровин Д.С. Обоснование и разработка метода оценки объёма угольного склада на основе аэрофотосъёмки с применением беспилотных летательных аппаратов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. г. Кемерово, 2017 г.
4. Woodget A.S. Quantifying submerged fluvial topography using hyper spatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry// A.S.Woodget, P.E. Carbonneau, F. Visser, I.P. Maddock // Earth Surface Processes and Landforms. - 2014. -№40 (1). –Р. 47-64.
5. Коровин Д.С. Алгоритмическое и программное обеспечение с применением беспилотных летательных аппаратов для оценки остатков угля на открытых складах / О.В. Тайлаков, Д.С. Коровин, М.П. Макеев, С.В. Соколов // Уголь. - 2015. - № 2. - С. 68-71.
6. Пошаговое руководство (Уровень: Продолжающие): Построение 3D модели в программе Agisoft PhotoScan 1.1.
7. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. ГККИНП 02-067-03. Ташкент, 2003 г.
8. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Москва. ЦНИИГА и К. 2002 г.

АНКЕТА

1	Фамилия, имя, отчество автора (ов)	<i>С.С. Сайидкосимов</i>
2	Название статьи и количество страниц	Применение беспилотных летательных аппаратов для определения объёмов поверхности карьера, разреза или рудника. Количество страниц 6.
3	Название конференции и секции	XXIII Международной научно-практической конференции СЕКЦИЯ 05. Технические науки.
4	Место работы или учебы (<u>полное название учреждения, без сокращений</u>).	ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени ИСЛАМА КАРИМОВА
5	Должность, ученая степень, звание	Зав. кафедра
6	Почтовый адрес (с индексом) на который следует выслать заказанные материалы конференции	Индекс: <u>100095</u>
7	E-mail	abdukarimov.93.93@mail.ru
8	Телефон для контактов	+998949309377
9	Необходим ли сборник в печатном виде? (1 экз. 350 руб, с доставкой за пределы России 850 руб.)	нет
10	Нужна ли справка, о факте принятия материалов к печати (да/ нет)	да
11	Необходим ли диплом участника конференции (да/ нет) (100 руб.)	Да 1 Алланазаров Олимжон Рахмонович