Губайдуллина Р.А.
**Особенности использования метода аэрофототопографической съемки при
деформационном мониторинге**

*Санкт-Петербургский горный университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-12-2018-175

idsp: ljjournal-12-2018-175

Аннотация

В данной статье приведены рекомендации по составлению проекта работ, позволяющие адаптировать метод аэрофототопографической съемки для оценки устойчивости откосов карьеров и отвалов. Проведены экспериментальные измерения, на основании которых изучено влияние основных источников ошибок и предложена методика повышения точности определения координат деформационных марок.

Ключевые слова: карьер, деформации, мониторинг, беспилотный летательный аппарат, аэрофотограмметрия

Одной из основных работ, проводимых в процессе эксплуатации горнотехнических сооружений, является своевременное выявление деформаций. Основным регламентирующим документом при проведении работ по наблюдениям за деформациями бортов карьера является инструкция [1], разработанная в 1970 году. Как известно, данную задачу можно решить, как при помощи традиционных методов, описанных в инструкции [1], так и с применением современных дистанционных методов [2,4]. В работе приведены особенности аэрофотограмметрического метода с применением беспилотного летательного аппарата. На данный момент беспилотные летательные аппараты применяются на карьерах при решении только двух упомянутых задач – картографирование территории [6] и сбор необходимой информации для расчета объемов открытой горной выработки [5]. Выбор метода обусловлен тем, что он имеет ряд преимуществ: высокая производительность, наглядность, малый объем полевых работ, возможность автоматизации процесса обработки данных. Существенным недостатком метода является недостаточная точность, что не позволяет использовать его в целях мониторинга деформаций. Согласно отечественным нормативным документам точность наблюдения за деформациями бортов карьера устанавливается для каждого месторождения индивидуально и зависит от физических и механических свойств породы, вида трещиноватостей, конфигурации горного массива и других факторов [1]. Несмотря на это, точность определения координат точек открытой горной выработки при деформационном мониторинге не должна превышать нескольких мм для скальных пород и 1-2 см для песчаных. Однако, если учесть и ослабить влияние ошибок, возникающих при реализации метода, можно значительно повысить точность определения координат.

Актуальность исследования обусловлена тем, что использование данного метода позволит сократить объем полевых и камеральных работ, что существенно уменьшит их стоимость и позволит решить поставленную задачу быстрее и проще.

Основной особенностью при выполнении мониторинга деформаций методами аэрофототопографической съемки является необходимость соблюдения неизменности не только элементов ориентирования, но и условий фотографирования. В первую очередь на это влияет освещенность объекта, то в какое время дня будет выполняться съемка, под каким углом будут падать солнечные лучи, наличие теней на объекте, состояние атмосферы, скорость ветра и т.д. Поэтому все циклы съемок должны выполняться примерно при одних и тех же условиях внешней среды и в одно и то же

время суток. При составлении проекта работ необходимо учитывать расположение объекта относительно солнца. Съемка против солнца не допускается.

Кроме того, при планировании работ необходимо учитывать, что обычно БЛА оснащают неметрическими камерами, а это значит, что элементы внутреннего ориентирования неизвестны – камеру необходимо откалибровать и вычислить их. Некоторые программные продукты имеют функцию самокалибровки (определяют элементы внутреннего ориентирования и дисторсии объектива по известным координатам опорных точек).

Проектирование работы начинается с выбора съемочной аппаратуры (исходя из требуемой точности измерений). Далее рассчитывается величина GSD (разрешение точки на местности) по формуле (1):

$$GSD = \frac{H}{F} \left[\frac{M}{\text{пкс}} \right], \quad (1)$$

H – высота фотографирования, м

F – фокусное расстояние в пикселях.

При выборе беспилотного летательного аппарата необходимо учитывать, что при аэрофотосъемке он должен удовлетворять следующим требованиям: обладать достаточно высокой продольной, поперечной и курсовой устойчивостью; быть оснащенным современной навигационной аппаратурой (GPS или IMU) и гиростабилизирующей установкой, управляемой рамкой для наклона камеры перпендикулярно снимаемому объекту; иметь достаточную дальность полета; управляться в полуавтоматическом режиме; иметь достаточную скорость и грузоподъемность.

Как правило, беспилотные летательные аппараты очень легкие и на них оказывает большое влияние ветер, вследствие чего дрон может отклоняться от маршрута. С целью устранения шарнирного эффекта и последующей связки моделей, при проектировании перекрытия снимков следует увеличить - продольное перекрытие принимать равным 90%, а поперечное - 70%.

Что касается самой технологии съемки карьера, то съемку уступов необходимо выполнять строго отвесным лучом, а зону откоса – наклонным, (перпендикулярно к снимаемой поверхности), причем угол, на который необходимо наклонять камеру, зависит от угла откоса карьера и должен быть равен ему. В целях обеспечения необходимого перекрытия снимков, крайние маршруты (в зоне стыка откоса и борта карьера) проектируются в обоих случаях за границами съемочного объекта. Именно эти перекрытия позволяют связать две модели.

Таким образом, согласно описанным выше рекомендациям были выполнены экспериментальные наблюдения за деформациями на карьере Preg, Австрия. Метод был реализован с использованием гексакоптера Tarot Frame, DJI NAZA M V2, специально подобранных кодовых марок и камеры Sony Alpha 6000 с постоянным фокусным расстоянием 15 мм. Съемка выполнялась в утреннее время до обеда, примерно с 9 до 12 часов дня в светлую, но не солнечную погоду (при наличии облаков). Перед фотографированием на объекте были закреплены опознаки в соответствии с проектом. Координаты опорных точек определены геодезическими методами. Съемки карьера производились дважды – в 2015 и 2016 годах. В результате наблюдений были получены снимки с разрешением 6000×4000 пикселей. Они обрабатывались в программе Агисофт. Точность измерений оценивалась по величине средней ошибки результатов измерений и вычислялась как среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений от истинной величины (геодезических измерений) по формуле:

$$m = \frac{\left[\left| \Delta \right| \right]}{n}, \quad (2)$$

где Δ - отклонение от истинного (геодезические измерения), n – количество точек.

С целью регистрации изменений, произошедших за год, были построены и сравнены облака точек 2015 и 2016 годов в программе Cloud Compare. Изменение координат точек, расположенных в нижней части откоса и на нижнем уступе (где расположены опорные и контрольные точки), сопоставимо с полученной точностью измерений. Следовательно, координаты точек, расположенных в этих зонах, не изменились с течением времени.

Координаты контрольных точек были сравнены между собой и с исходными координатами. В результате вычислений средняя ошибка определения координат контрольных точек в плане составила 5,2 см, а по высоте 1,9 см. Согласно упомянутым выше нормативным документам, такая точность неудовлетворительна для решения задач деформационного мониторинга откоса карьера, но ее вполне достаточно для выполнения наблюдений за отвалами. Следовательно, для задач деформационного мониторинга откосов карьера необходимо повысить точность определения координат деформационной марки, например, путем устранения ряда систематических ошибок, например, совершенствование конфигурации съемочного обоснования, измерение снимков в автоматическом режиме (в автоматическом режиме по кодовым маркам точность – 0,02 пкс, в ручном – 0,5 пкс [3]).

В заключение важно отметить, что при решении задач деформационного мониторинга методом аэрофотограмметрической съемки необходимо соблюдать следующие рекомендации: важно обеспечить постоянство условий съемки; тщательно подбирать программы обработки снимков - предпочтение стоит отдать программным продуктам, обладающим функциями самокалибровки камеры и имеющим функцию автоматизированного измерения снимков; особое внимание следует уделить составлению проекта работ, в частности построению съемочного обоснования. Точность данной методики может быть улучшена, путем устранения систематических погрешностей, совершенствования конфигурации съемочного обоснования.

1. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости / Министерство угольной промышленности СССР ВНИМИ. – Л.: ВНИМИ, 1971. – Глава 3.
 2. Кольцов, П.В. Методика безотражательных наблюдений за деформирующимися участками бортов карьеров и отвалов / Записки Горного института. – СПб. - 2012. – С. 68.
 3. Корнилов, Ю.Н., Боголюбова, А.А. О точности измерений цифровых снимков / Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». -2016. - №2. – С.17-21.
 4. Новаковский, Б.А., Пермяков, Р.В. Цифровая наземная стереосъемка возможности и перспективы / Геодезия и картография. – 2014. - №10. – С. 37-40.
 5. Чередеев, Г.С. Применение беспилотных летательных аппаратов для быстрого получения ортофото съемки, 3D-модели местности и расчет объемов в маркшейдерском деле / XII Всероссийская научно-практическая конференция «Новые технологии при недропользовании». – Сборник научных трудов. – СПб. - 2016 - С. 30- 31.
 6. Filipova, S., Filipov, D., Raeva, P. Creating 3D model of an open pit quarry by UAV imaging and analysis in GIS / International conference on cartography and GIS. – Albena, Bulgaria. – 2016. - С. 651-656.
-