

МОГИЛЬНЫЙ С. Г., АХОНИНА Л. И., КРУГЛИКОВ Ю. Ф., ЛЕСЮК Т. Н. (ДонНТУ)

## О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СКАНИРОВАННЫХ АЭРОФОТОСНИМКОВ КАРЬЕРОВ

Цифровые методы обработки фотоснимков в настоящее время являются основой фотограмметрических технологий картографирования и окончательно вытеснили из применения универсальные стереофотограмметрические приборы [1]. В горном деле накоплен многолетний опыт применения фотограмметрии для решения маркшейдерских задач на открытых горных разработках, основанный на использовании аналоговых стереоприборов [2]. Переход маркшейдерской фотограмметрии на новые цифровые технологии должен быть обоснованным так, чтобы не потерять накопленный опыт и не нарушить требования действующих нормативных документов. Основными параметрами, которые должны быть исследованы, являются: параметры цифровых изображений снимков и достижимая точность определения координат точек в карьере. Эти два параметра тесно взаимосвязаны и являются определяющими при проектировании новой технологии стереофотограмметрической съемки карьеров, поэтому выработка обоснованных рекомендаций имеет важное практическое значение.

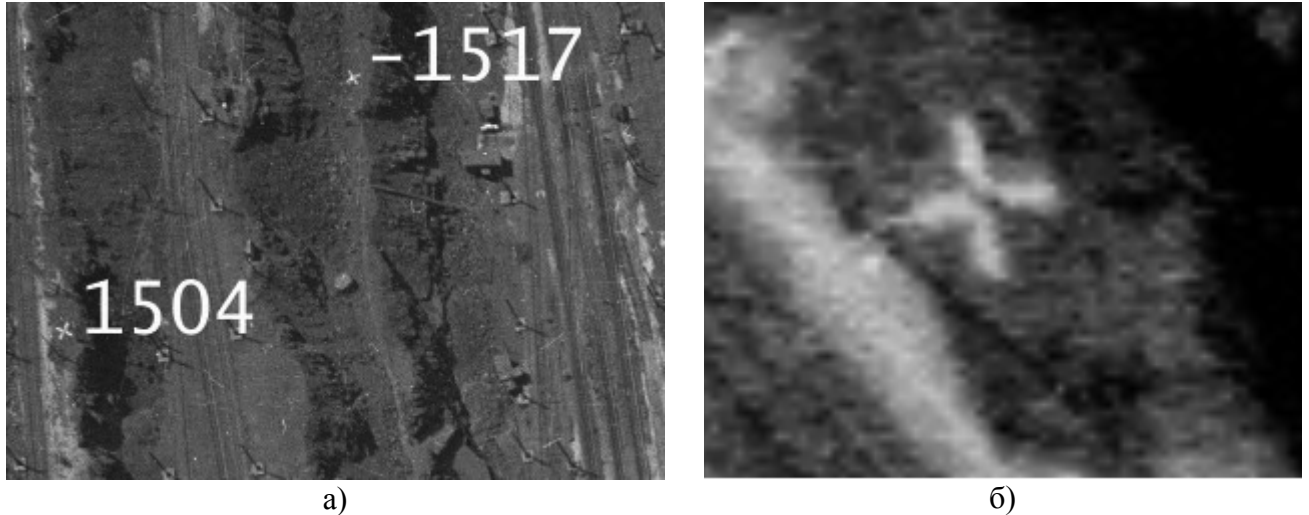
Уменьшение размера пиксела при представлении аэрофотоснимка в цифровой форме, с одной стороны, обещает повышение точности результатов измерений, а с другой стороны, ставит повышенные требования к сканирующим устройствам и производительности компьютерного оборудования и может значительно повысить стоимость и снизить эффективность технологии. Следует учитывать, что применяемые в настоящее время съемочное оборудование и фотоматериалы имеют ограниченную разрешающую способность [3], поэтому размер пиксела при сканировании должен быть соразмерен с качеством фотоснимков. Ответ на поставленные вопросы может быть получен из сравнения результатов обработки одних и тех же фотоснимков разными технологиями. В настоящей статье анализируются результаты экспериментальных работ по сгущению съемочного обоснования методом аналитической фототриангуляции. Фототриангуляция выбрана в качестве объекта исследования, так как на нем обеспечивается достоверность измерения координат тождественных точек на фотоснимках, и в распоряжении авторов имелся качественный экспериментальный материал [4].

Традиционная технология аналитической фототриангуляции для сгущения съемочного обоснования заключалась в измерении на стереокомпараторе по аэрофотоснимкам (черно-белая аэрофотопленка) координат точек в карьере, предварительно замаркированных на местности (рис. 1а, б), с последующим уравниванием на ЭВМ.

На первом этапе применения фототриангуляции использовались программы, применяемые в топографическом производстве, в частности, программа Г. Н. Ефимова [5]. В дальнейшем использовалось программное обеспечение, разработанное авторами специально для условий применения на карьерах [3–10]. В основе его использовалась математическая модель строгого уравнивания фототриангуляции методом связей с самокалибровкой.

Испытание и обоснование параметров аналитической фототриангуляции проводилось на двух полигонах, созданных в 1971г. на карьере ЮГОК (Южный горнообогатительный комбинат, г. Кривой Рог) и в 1977г. на карьере Восточном Докучаевского флюсо-доломитного комбината (г. Докучаевск Донецкой обл.). Контрольные точки в карьерах перед съемкой маркировались так, как показано на рис. 1. Плановые координаты точек полигона определялись методом светодальномерной полигонометрии и боковых угловых засечек, а отметки – геометрическим нивелированием, так что ошибки плановых координат не превышают  $\pm 0,05$  м, а отметок  $\pm 0,03$  м. Аэрофотосъемка выполнялась камерой с фокусным расстоянием 100 мм на карьере «Восточный» с высоты 730–760 м относительно верхнего горизонта при глубине карьера до 100 м, высота аэрофотосъемки карьера ЮГОК относительно верхнего горизонта составила 850 м, при глубине карьера 150 м.

Опытно-промышленные испытания технологии аналитической фототриангуляции выполненные в 1971 г на полигоне Южного горнообогатительного комбината показали точность координат замаркированных точек геодезического полигона в плане – 0,35 м, по высоте – 0,36 м.[5]. На полигоне карьера «Восточный» Докучаевского флюсодоломитного комбината в 1977г. было получено, что точность определения планового положения замаркированных точек съёмочной сети составила в плане – 0,20 м, по высоте – 0,12 м. [7].



**Рис. 1.** Фрагменты аэрофотоснимков карьера ЮГОК: а) часть карьера с опорными точками; б) вид знака маркировки опорной точки.

Спустя 30 лет на архивных аэрофотоматериалах карьера ЮГОКа опробован комплекс программ аналитической фототриангуляции BlokMSG [4]. Исследования показали, что метрическое качество архивных снимков практически не изменились, некоторое повышение точности координат точек в карьере по новым измерениям можно объяснить более совершенным программным обеспечением.

Таким образом, имеющийся комплект аэрофотоснимков и данные полевых геодезических измерений испытательных полигонов являются надежными экспериментальными материалами для исследования поставленных задач. Аэрофотоснимки были отсканированы на фотограмметрическом высокоточном сканере ГНПП «Геосистема» (г. Винница, Украина).

Сканирование архивных материалов аэрофотосъемки, разрешающая способность которых составляла порядка 50 линий на один миллиметр в центре снимка и 25 л/мм на краю снимка [3], были выполнены для карьера ЮГОК с размером пиксела 24 мкм, а для карьера «Восточный» – 16мкм.

По карьерам Восточный и ЮГОК для измерений на фотограмметрической станции Дельта (Винница) составлены блоки растровых изображений отсканированных аэрофотоснимков. Из фотоснимков карьера Восточного сформирован блок, включающий три взаимно параллельных маршрута по четыре снимка в каждом, всего 12 снимков. Продольное и поперечное перекрытие снимков равно 60 % (рис. 2). По карьере ЮГОК отобрано два параллельных маршрута, включающих четыре и три стереопары соответственно, всего 9 снимков. Продольное перекрытие равно 70 %, поперечное между маршрутами – порядка 80 %

В качестве опорных в сети фототриангуляции по Восточному использованы 9 замаркированных пунктов, а по ЮГОКу – 7 пунктов, координаты которых определены из наземных геодезических измерений. В качестве контрольных точек использованы пункты геодезических полигонов в карьере Восточном в количестве 88 штук, на ЮГОКе использовано 95 пунктов.

Измерения растровых изображений снимков карьеров выполнено на фотограмметрической станции Дельта. Измерения снимков карьера Восточный выполнено дважды с интервалом во времени в два года, а именно в 2002 и 2004г. разными операторами. Снимки ЮГОКА измерены в 2005г. Уравнивание результатов измерений выполнено с помощью программного комплекса «BlokMSG» (табл. 1).

По результатам уравнивания измерений в сети фототриангуляции карьера Восточный средневзвешенные значения отклонений в положении точек из двух вариантов измерений (табл. 1) равны:

- на опорных точках как в плане так и по высоте – 0,17м;
- на контрольных точках как в плане так и по высоте – 0,22м.

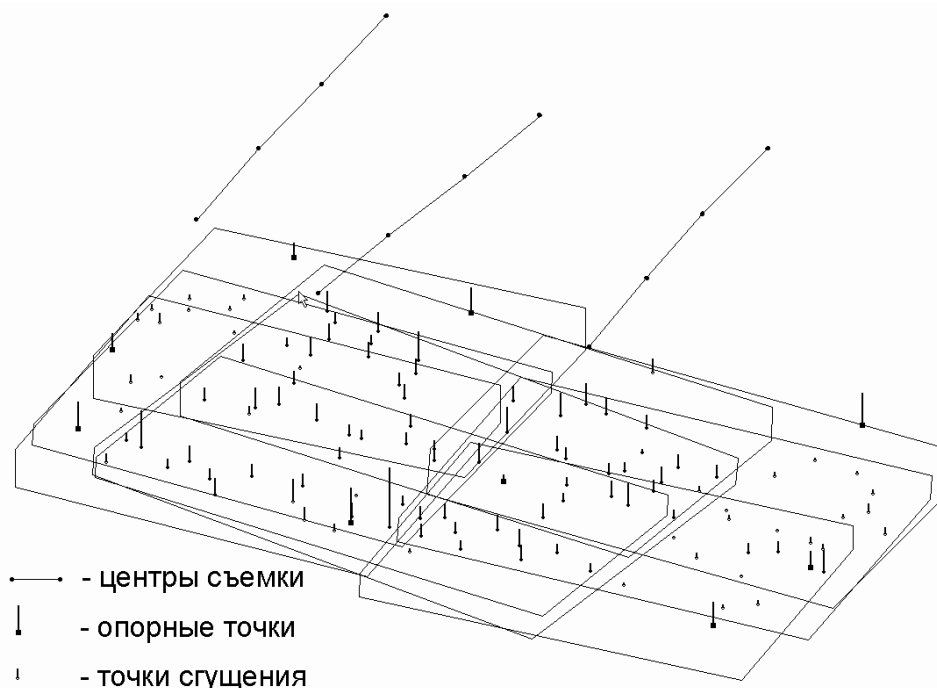


Рис.2. Схема сети фототриангуляции на полигоне карьера «Восточный».

Табл. 1. Результаты уравнивания фототриангуляционных сетей по карьерам

Наименование параметров	Карьеры		
	ЮГОК	Восточный	
Годы	2005	2002	2004
Количество опорных пунктов на местности :			
планово-высотных	7	7	7
высотных		2	2
Количество стереопар в блоке	7	9	9
Всего контрольных планово-высотных точек	95	88	77
Средние отклонения на опорных точках, м			
в плане	0,16	0,22	0,12
по высоте	0,20	0,22	0,12
Средние отклонения на контрольных точках, м			
в плане	0,26	0,22	0,23
по высоте	0,28	0,19	0,26

При сопоставлении результатов измерений снимков обоих карьеров очевидно, что результаты близки друг другу по своим величинам.

На рис. 3 показана гистограмма распределения ошибок на контрольных точках после уравнивания сети фототриангуляции по карьере Восточный. Видно, что распределение ошибок практически подчиняется нормальному закону распределения. Максимальные отклонения по высоте, превышающие 0,2 м отмечаются на небольшом количестве точек, менее 10.

Распределение расхождений высот контрольных точек  $\Delta Z$ , вычисленных как разность отметок после уравнивания фототриангуляции, и отметок, полученных из данных полевого нивелирования по карьере Восточный, изменяются в пределах от -0,30 до 0,46 м (рис.4).

Наименьшие отклонения высот на контрольных точках получены в середине блока по среднему маршруту. Аналогичная ситуация наблюдается и по карьере ЮГОК, а наибольшие отклонения получены в углу блока сети, где величина  $\Delta Z$  достигла значения 0,5м. (рис.5)

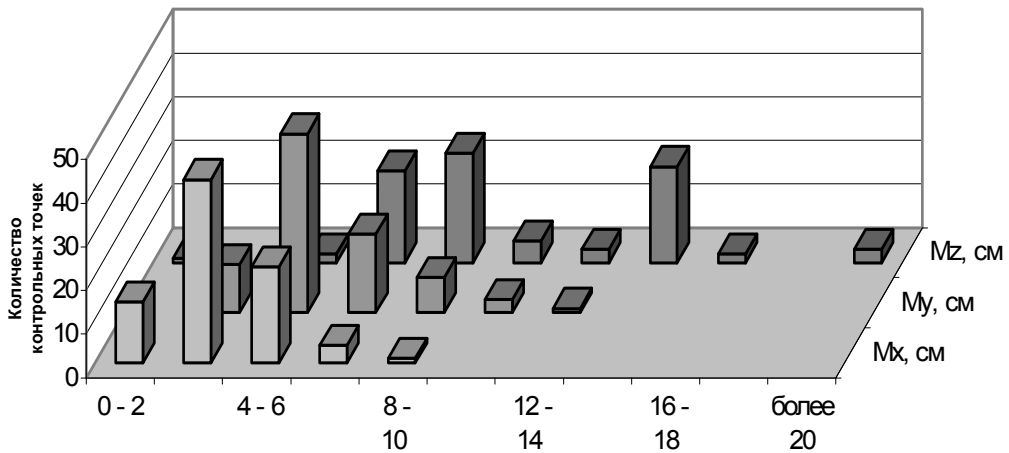


Рис. 3. Гистограмма распределения средних квадратических ошибок в положении контрольных точек после уравнивания сети

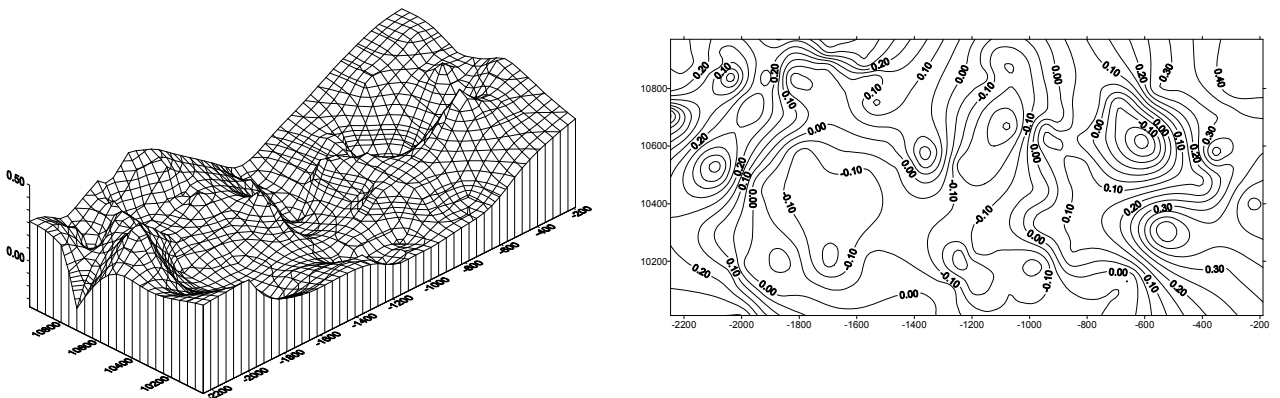


Рис. 4. Графики отклонений  $\Delta Z$  на контрольных точках карьере Восточный

Кроме оценки качества растровых снимков, сформированных в блок фототриангуляции, выполнены измерения отдельных не зависящих друг от друга растровых изображений как по карьере Восточный так и по карьере ЮГОК, причем по карьере ЮГОК эти же стереопары, но на аэрофотоплёнке, измерены и на стереокомпараторе «СК1818» (табл. 2).

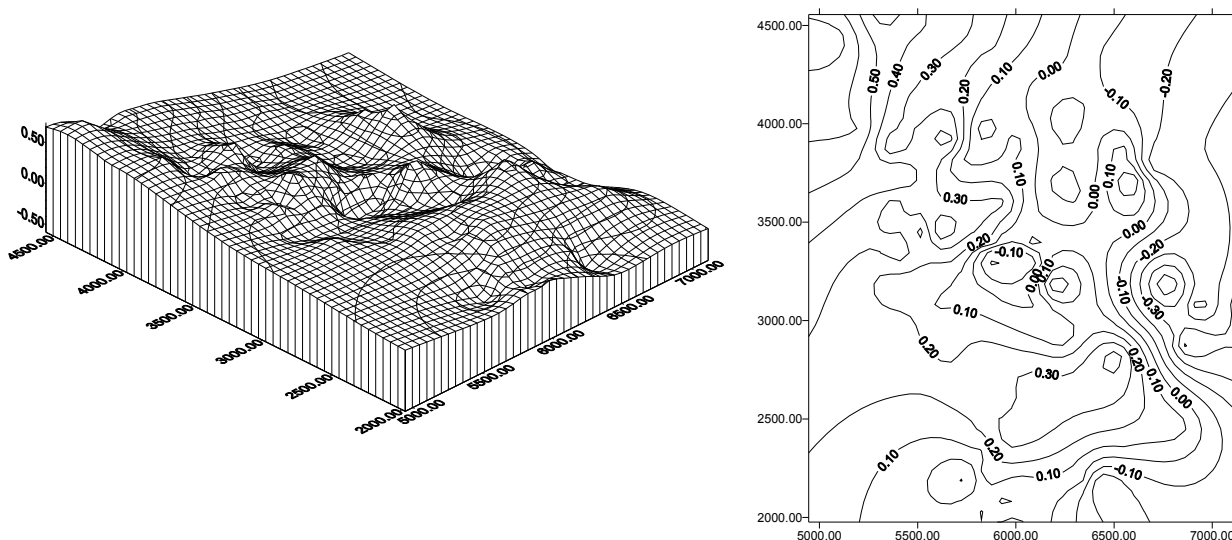


Рис. 5. Графики отклонений  $\Delta Z$  на контрольных точках карьера ЮГОК

Табл. 2. Результаты уравнивания измерений отдельных стереопар карьера ЮГОК

№ стереопары	Параллаксы, мкм	Количество точек	Средние квадратические ошибки координат, м					
			«Дельта»			«СК1818»		
			$m_x$	$m_y$	$m_z$	$m_x$	$m_y$	$m_z$
1	2,8	11	0,17	0,17	0,21			
2	0,8	10	0,09	0,08	0,06	0,19	0,18	0,37
3	0,9	12	0,23	0,26	0,41			
4	2,9	21	0,05	0,08	0,07	0,09	0,16	0,17
5	2,3	10	0,01	0,02	0,02	0,17	0,16	0,32
6	2,6	22	0,13	0,14	0,01	0,28	0,24	0,28
7	2,4	20	0,11	0,13	0,02	0,37	0,23	0,04
8	3,5	14	0,13	0,17	0,12			
9	2,3	12	0,09	0,09	0,14	0,10	0,09	0,14
Среднее весовое			0,11	0,12	0,10	0,21	0,19	0,20
Вектор ошибки, м			0,19			0,35		

На каждой стереопаре карьера ЮГОК имеется достаточно много контрольных точек местности, координаты которых известны из наземных измерений. Уравнивание измерений отдельных стереопар сканированных снимков на фотопленке карьера ЮГОК выполнено с помощью BlokMSG. Анализ результатов измерений стереопар растровых изображений и его же снимков на черно-белой пленке показывают, что точность измерений растровых изображений на мониторе компьютера почти в 2 раза выше, чем на стереокомпараторе (табл. 2).

По карьере Восточный измерены стереопары только растровых изображений снимков карьера (табл. 3).

Сопоставление данных таблиц 2 и 3, показывает, что уменьшением размера пикселя с 24 мкм (карьер ЮГОК) до 16 мкм (карьер Восточный) при сканировании аэрофотоснимков практически точность измерений отдельных стереопар повышается незначительно с 0,19 м до 0,25 м.

**Табл. 3.** Результаты уравнивания измерений отдельных стереопар карьера «Восточный»

№ стереопары	Параллакс, мкм	Количество точек	Средние квадратические ошибки координат точек, м		
			$m_x$	$m_y$	$m_z$
1	0,2	36	0,08	0,12	0,23
2	0,3	22	0,18	0,24	0,08
3	3,9	33	0,06	0,11	0,10
4	0,9	24	0,10	0,15	0,28
5	0,3	19	0,19	0,24	0,15
6	2,4	25	0,09	0,09	0,11
7	3,1	33	0,07	0,11	0,14
8	1,2	20	0,12	0,10	0,15
9	1,0	24	0,08	0,13	0,24
10	0,1	30	0,13	0,13	0,37
Среднее весовое			0,09	0,14	0,19
Вектор ошибки, м			0,25		

Таким образом анализ результатов измерений архивных материалов аэрофотосъемки крупных карьеров Украины как при измерениях фототриангуляционных блоков, составленных из растровых снимков, так и отдельных стереопар показывает, что при размерах пикселя 24 мкм и 16 мкм погрешности измерений по величине близки между собой.

Следовательно, сканирование не обязательно стремится выполнять сканером с большим разрешением и для решения горногеометрических задач на открытых горных разработках достаточно иметь изображение с размером пикселя в пределах 20–24 мкм.

### Литература

1. Чорнокінь В.Я., Сушко В.Т. Баран П.І., Онисько Б.М., Сулима В.О. Розгон В.В., Скидан С.М., Савенков М.Д. Практика застосування сучасних технологій та аерофотознімання // Вісн. геодез. та картогр. – 2001. -№4. – С.18-23.
2. Могильный С.Г., Ахонина Л.И., Кругликов Ю.Ф. Применение методов фотограмметрии в промышленности (История, опыт и перспективы развития) //Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия горно-геологическая. Выпуск 62 – Донецк, 2003. –С.12-23.
3. Кучко А.С. Аэрофотопография (Основы и метрология). М.: «Недра». 1974, 272с.
4. Могильный С.Г., Ахонина Л.И., Воронина Н.В., Дзеканюк А.О. Анализ метрологического качества архивных материалов аэрофотосъемки //Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия
5. Моисеева Н.В. Опыт сгущения опорной сети на карьере ЮГОКа методом аналитической фототриангуляции // Материалы совещания по применению фотограмметрии на го горно-геологическая. Выпуск 36 – Донецк, 2001. –С.83-87
6. Могильный С.Г., Кругликов Ю.Ф. Аналитическая фототриангуляция для создания маркшейдерского обоснования на карьере. //Геодезия и фотограмметрия в горном деле: Межвуз. науч.-темат. сб. –Свердловск, – 1977. –Вып. 4. –С. 67-71.
7. Кругликов Ю.Ф. Опыт – промышленные испытания аналитической фототриангуляции на карьере. // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1980. Вып.55. С16-19.
8. Могильный С.Г., Кругликов Ю.Ф. Математическое обеспечение технологии создания планово-высотного маркшейдерского обоснования на карьере методом аналитической фототриангуляции. Деп. ЦНИЭИуголь, Москва, №1254, 1977. –25с.
9. Могильный С.Г., Кругликов Ю.Ф., Серых А.П. Методические указания по применению аналитической фототриангуляции на карьерах. Издание ВИОГЕМ, Белгород. 1987. 48 с.
10. Могильный С.Г. Зрівнювання мереж аналітичної фототриангуляції // Вісн. геодез. та картогр. –2000. -№4. – С.19-23.