

УДК 627:528.48:528.74(23.0)

В. И. КИБАЛЬНИКОВ, В. Н. НЕВИНЧАНЫИ,
Б. Ф. ДАНИЛИН

О КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФОТОТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

При строительстве крупных гидротехнических сооружений в горных районах со сложными формами рельефа возникает необходимость в создании планов масштаба 1:1 000, 1:500, а в некоторых случаях и 1:200. Составление таких планов обычными геодезическими методами весьма затруднительно, а порой и невозможно.

Исследования, выполненные рядом авторов [1, 2, 5], показывают, что съемку ушей и узких каньонов наиболее целесообразно проводить методами наземной стереофотограмметрической съемки (НСС), материалы которой могут быть с успехом использованы как для составления топографических планов на универсальных приборах, так и для решения целого ряда специальных задач: а) для планово-высотной привязки точек геологических съемок; б) ведения дежурного плана на район строительства; в) составления исполнительных съемок; г) определения объемов земляных работ; д) построения профилей, разрезов и фронтальных планов; е) изыскания и проектирования подъездных путей; ж) для гидрологических исследований; з) для качественной и количественной характеристики движения наносов во время строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений.

Остановимся на некоторых из перечисленных задач, которые были решены при строительстве Кировского водохранилища.

На район створа плотины Кировского водохранилища площадью 50 га необходимо было составить топографический план масштаба 1:500 с сечением рельефа 0,5 м. Согласно техническому заданию ошибка в положении контурных точек в плане и по высоте не должна превышать ± 20 см.

Исходя из этих требований, координаты концов базисов и контрольных (корректирных) точек должны определяться с ошибкой порядка $\pm 2-3$ см.

Такую точность геодезического обоснования получили путем развития аналитической сети, опирающейся на специальную гидротехническую триангуляцию II класса.

Проект аналитической сети составили так, чтобы каждая стереопара была обеспечена четырьмя корректирными точками, последние закреплялись на местности железобетонными монолитами с трубками. В трубку устанавливали фанерные маркировочные знаки, окрашенные эмалевой краской. На лицевой стороне марок были нарисованы арабские цифры, указывающие номер корректирной точки (рис. 1).

Пересечение прямолинейных элементов принимали за центр знака. Высоту центра марки относительно бетонного монолита определяли миллиметровой металлической линейкой. Нумерация маркировочных знаков исключала ошибку их опознавания.

Отметки концов базисов и корректурных точек были получены из геодезического нивелирования со средней квадратической ошибкой ± 15 мм.

Расчет оптимальных длин базисов был выполнен из условия максимального захвата площади и возможности обработки снимков на модернизированном стереоавтографе.

По условиям местности отстояния находились в пределах 120—660 м, соответственно длины базисов колебались от 30 до 70 м.



Рис. 1. Маркировочные знаки.

Следует отметить, что левые концы базисов были совмещены с пунктами аналитической сети. Длины базисов определяли непосредственно компарированными 50-метровыми рулетками с относительной ошибкой $\frac{1}{4000}$.

Съемку выполняли тщательно отъюстированным фототеодолитом 19/1318, причем особое внимание было уделено определению элементов внутреннего ориентирования. Для этого в районе работ построили компаратор. Элементы внутреннего ориентирования (i_k , δ_x , δ_z) находили по методике, предложенной В. И. Кибальниковым [3]. Исследования фотокамеры выполняли при различных температурах (от -5 до $+30^\circ$); в результате было установлено, что фокусное расстояние фотокамеры изменялось от 194,53 до 194,67 мм, поэтому при изменении температуры во время съемки на $10-15^\circ$ возникала необходимость во введении поправок за температуру, кроме того, перед началом работ производили проверку ориентирного приспособления. Неприжим контролировался после фотолабораторной обработки на стереокомпараторе. Фактически фотопластинки с недопустимым неприжимом не обнаружено.

Как показали исследования различных авторов, особое внимание при крупномасштабных съемках должно быть уделено отбору фотопластинок. Мы согласны с выводами Д. Е. Патенко [4], что тонкие фототеодолитные пластинки подвергаются значительным деформациям фотослоя при их фотолабораторной обработке. Искажения достигают 22—25 мкм. Чтобы избежать указанных ошибок, мы отбирали фотопластинки толщиной не менее 2,0 мм и проверяли их на плоскостность с помощью специального прибора.

Съемку производили при благоприятном освещении с обязательным дублированием. В обработку принимались только негативы хорошего и отличного качества.

Для составления топографических планов использовался несколько модернизированный стереоавтограф К. Цейсс (Иена). Прибор серийного выпуска был оснащен специальными приставками: дополнительным редуктором с передаточным числом 1:1,5 и 1:2, автоматическим пунктиром и юстировочным микроскопом для юстировок прибора.

Тщательные исследования прибора показали, что усовершенствование его позволяет, с одной стороны, без заметного снижения точности

прибора значительно расширить диапазон переходных масштабов обработки (1:0,5; 1:0,75; 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:3; 1:4) и, с другой стороны, существенно облегчает и ускоряет юстировки прибора и процессы рисовки точечных и пунктирных линий.

Все это помогло составить специальный топографический план участка каньона в районе створа плотины в масштабе 1:500 с минимальной затратой времени на полевые и камеральные работы.

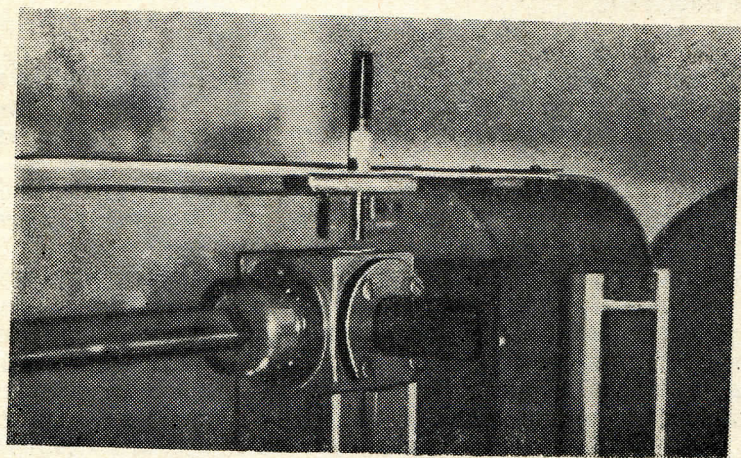


Рис. 2. Юстировочный микроскоп.

Мы ставили перед собой задачу показать с максимальной достоверностью и выразительностью все, даже мелкие особенности формы и структуры рельефа, которые порою невозможно изобразить горизонталями и существующими условными знаками, но которые имеют существенно важное значение для геологов, гидрологов, проектировщиков, строителей и других специалистов. Отсюда составление плана шло по следующей программе: производство поверок и юстировок прибора; анализ и отбор из дубликатов полноценных негативов; вычисление исходных геодезических данных; подготовка основы; ориентирование и корректура модели; рисовка рельефа и ситуации.

Особое внимание было обращено на производство поверок и юстировок стереоавтографа. Тщательно определялись места нулей шкал и особенно МО шкалы Y , для чего использовалось специальное юстировочное приспособление (рис. 2).

На раме прибора при максимальном значении мостика отстояний жестко крепился микроскоп 16-32, в фокальной плоскости которого помещалась сетка нитей (от любого теодолита), а на мостике отстояний в поле зрения микроскопа укреплялась стеклянная пластинка с миллиметровой шкалой. Такое приспособление помогало достаточно точно фиксировать положение каретки отстояний, то есть оперативно корректировать показания счетчика отстояний (определить МО шкалы Y) и выявлять свободный ход каретки.

Стереоавтограф, снабженный дополнительным редуктором позволял обрабатывать передний и дальний планы в одном масштабе (1:500) при отстояниях до 600 м. Однако применение такого редуктора вызывало дополнительные механические ошибки, которые были сведены до минимума в процессе тщательной юстировки свободного хода кареток координатографа.

Ориентирование снимков и корректура модели производились аналитическим методом по 3—4 геодезическим замаркированным точкам

на стереопару и координатам левого центра проекции. Сущность этого метода заключается в вычислении фотограмметрических координат корректурных точек и сравнении их с измеренными значениями координат на этих же точках.

Фотограмметрические координаты вычислялись по формулам

$$X_{\phi} = l \sin \beta, \quad Y_{\phi} = l \cos \beta,$$

где l — расстояние от левого центра проекции до корректурной точки в машинном масштабе.

$$\beta = \alpha_u \mp \varphi - \alpha_{\beta} + 90,$$

где α_u — дирекционный угол направления с левого конца базиса на корректурную точку, α_{β} — дирекционный угол базиса, φ — угол скоса.

Вычисленные и измеренные значения координат выписываются в ведомость (стр. 115).

При анализе расхождения δ между измеренными и вычисленными значениями координат точек корректуру модели производят обычными приемами, исходя из теории искажения стереомодели.

Следует отметить, что наличие четырех замаркированных жестких геодезических точек на стереопару позволяет значительно уменьшить искажения, вызванные ошибками внешнего и внутреннего ориентирования снимков, деформациями фотослоя и инструментальными ошибками.

Рисовка крупномасштабных планов (специального назначения) на жестких планшетах стандартной разграфки вызывает ряд затруднений и снижает производительность труда, особенно при изготовлении их копий. Для устранения недостатков хорошо составлять планы на пластиках. В частности мы использовали пластик, на котором удобно чертить как карандашом, так и тушью, размером $1,7 \times 0,8$ м.

На таких планшетах изображались отдельно левый и правый склон каньона, границей служила река. Применение пластика и автоматического пунктира повышает культуру производства, меньше утомляет оператора и ощутимо облегчает процесс составления планов, особенно при рисовке горных участков с большим количеством контуров в виде выходов коренных пород, различных осыпей, обрывов, карнизов и т. д.

Вычерченный в цветах, на пластике, план выразителен, мало деформируется, удобен для хранения, размножения копий, корректуры и производства дополнительных съемок.

Определение объемов горных выработок производилось по материалам НСС методом вертикальной сетки [6]. Измерения координат вершин сетки выполнялось на стереокомпараторе. Этот метод оказался наиболее эффективным в сложных условиях строительства Токтогульской ГЭС [5] и Кировского водохранилища, где и нашел широкое производственное применение. Эффективность данного метода может быть повышена еще больше с введением автоматизации измерительных и вычислительных процессов.

Построение профилей по заданному направлению производилось на стереоавтографе набором пикетов. Этот трудоемкий процесс желательно также автоматизировать.

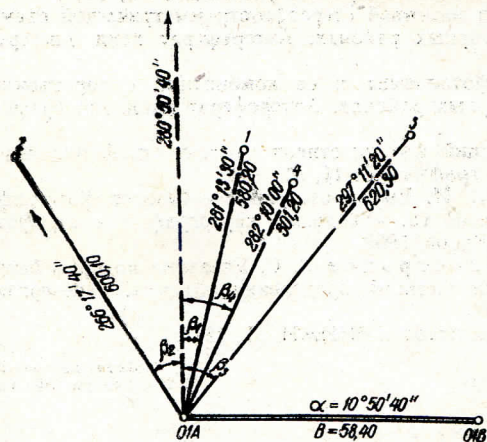
Как показали исследования В. И. Кибальникова, материалы НСС могут быть использованы и для составления детальных геологических, гидрологических и структурных карт [3], а также решения других специальных задач.

Таким образом:

1. Для дальнейшего совершенствования технологии составления крупномасштабных планов целевого назначения следует разработать специальные условные знаки и составить соответствующие методические указания.

ОБРАЗЕЦ ВЕДОМОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ КООРДИНАТ И КОРРЕКТУРЫ МОДЕЛИ

Стереопара 01 А—01 В
В=58,40 м. $\alpha=10^{\circ}50'40''$



Исходные данные

№ точки	β°	l_m м.м.
1	00 23 50	290,10
2	13 33 00	300,05
3	16 20 40	310,15
4	01 19 20	150,60

КОРРЕКТУРНАЯ ВЕДОМОСТЬ

№ точки	Обозначения	$\sin \beta$	$l_m \cdot \sin \beta$	Отсчеты	δ_1	Отсчеты	δ_2	Отсчеты	δ_3	Δ , м.м.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	X_{ϕ}	0,006933	+02,01	502,00	-0,01	24		502,03	+0,02	+0,1
	Y_{ϕ}	0,999976	290,09	289,82	-0,27	290,12	+0,03	290,06	-0,03	-0,1
2	X_{ϕ}	0,234294	-70,30	429,67	-0,03			429,70	0	0
	Y_{ϕ}	0,972166	291,70	291,68	-0,02	292,00	+0,30	291,65	-0,05	-0,2
3	X_{ϕ}	0,281411	+87,27	587,92	+0,05			587,33	+0,06	+0,1
	Y_{ϕ}	0,959587	297,61	297,00	-0,61	297,40	-0,21	297,67	+0,06	+0,2
4	X_{ϕ}	0,023075	+03,47	503,50	+0,03			503,48	+0,01	0
	Y_{ϕ}	0,999734	150,56	150,45	-0,11	150,54	-0,02	150,54	+0,01	0

Корректуру выполнил

Проверил

2. Специальные крупномасштабные топографические планы, составленные на жестком геодезическом обосновании, в сочетании с фронтальными планами, стереопанорамами и другими материалами фототеодолитной съемки практически обеспечивают производство всех проектных работ без особых дополнительных изысканий.

3. Заслуживают внимания вопросы модернизации существующих стереофотограмметрических приборов НСС, а также дальнейшее совершенствование методики камеральных работ.

4. Желательно произвести специальные исследования по установлению фактической точности составления крупномасштабных планов (1:1000; 1:500; 1:200) методами НСС для горных районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов Е. Ф. и др. Справочное руководство по инженерно-геодезическим изысканиям при проектировании и строительстве гидроэлектростанций. М., 1960.
2. Бруевич П. Н. Вопросы применения наземной стереофотограмметрической съемки при гидротехнических изысканиях в горных районах. Автореферат канд. диссертации. М., 1968.
3. Кибальников В. И. Наземная фотосъемка и ее комбинации с аэросъемкой при геологических исследованиях в горных районах. Автореферат канд. диссертации. Л., 1962.
4. Патенко Д. Е. О влиянии деформаций фотопластинок на точность фотограмметрических измерений. «Геодезия и картография», № 11, М., 1968.
5. Пузанов Б. С., Кибальников В. И. Выбор отстояний и базисов фотографирования при фототеодолитной съемке. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 7. Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1968.
6. Пузанов Б. С., Иванов Н. И., Виноградов В. С. Указания по применению наземной стереофотосъемки для аналитического определения объемов. Госэнергоиздат, 1961.
7. Фототеодолитная съемка в крупных масштабах. ВНИИ. Л., 1960.

Работа поступила
29 декабря 1969 года