

Г. А. ПАТЫЧЕНКО

ОПЫТ СОСТАВЛЕНИЯ ФРОНТАЛЬНЫХ ПЛАНОВ В МАСШТАБЕ 1:10 ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

При изучении малых по размеру, но важных в историческом отношении сооружений возникает необходимость составления плана в масштабе 1:10. Рассмотрим некоторые особенности сверхкрупномасштабной (1:10) съемки фасадов сооружений на примере Золотых ворот — исторического памятника Киевской Руси.

При составлении плана фасадов четырех стен необходимо было нанести точное положение каждого камня кладки, трещины, впадины и т. д., а также дать взаимное положение деталей всех стен. План стен должен обеспечивать определение размеров с точностью до 1 см. Таким образом, средняя ошибка положения (контура на плане должна составлять 0,5 мм.

Общая длина стен Золотых ворот составляет 36,5 м, высота — 8—9 м, а общая длина плана стен — 3,7 м при ширине 0,8—0,9 м.

По условиям местности стены можно было сфотографировать с расстояния не более 4 м. При съемке с каждой фотостанции верхним и нижним объективами фототеодолитом С-3-в обеспечивался захват по высоте 3 м. Поскольку средняя высота стен составляет 8—9 м, для съемки верхней части потребовалась установка переносных лесов. Съемку производили с четырех базисов, расположенных параллельно плоскостям стен. Каждый снимок имел не менее четырех плановых опознаков. Если на одном снимке получались элементы стены, располагающиеся в разных плоскостях, то намечали дополнительные опознаки, с таким расчетом, чтобы каждая плоскость имела свои опознаки. Это исключало необходимость введения поправок «за рельеф». Все опорные точки маркировали. Чтобы сократить объем работ по определению координат замаркированных точек, их расположили особым образом. С помощью нивелира первый ряд марок установили на уровне объектива фототеодолита (рис. 1). Верхние и нижние марки разместили на одинаковом расстоянии от первого ряда. Таким образом, каждый ряд марок располагался строго по горизонтальной линии. Повторная нивелировка показала, что ошибка установки марок по высоте не превышала 1—2 мм и лишь в нескольких случаях доходила до 3 мм (положение таких марок исправляли).

Расположение марок горизонтальными рядами привело к тому, что координаты их по оси z были одинаковыми в каждом ряду, а координаты по оси x находили, промеряя рулеткой. Для приведения координат всех замаркированных точек к об-

щей системе три марки каждого ряда связывали с соответствующими точками первого ряда методом сноса, как это делают при определении крена. Связь координат трех точек вместо одной позволила получить контроль проложения ходов по стене. Среднее квадратическое значение невязок в ходах, определенное по 24 точкам, равно 2,3 мм. Невязки распределялись по сторонам хода с округлением поправок до 1 мм, то есть до 0,1 мм в масштабе плана.

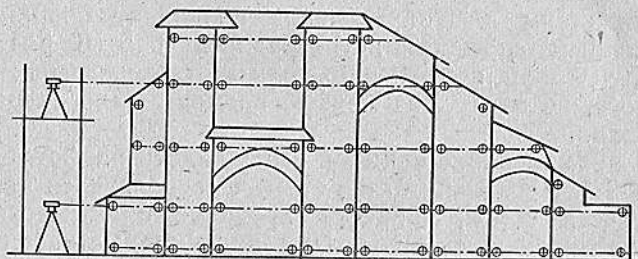


Рис. 1. Схема расположения контрольных марок при съемке Золотых ворот.

В ряде случаев возникала необходимость в дополнительных геодезических построениях. Так, например, для связи координат внутри одного хода (ряда) для точек, лежащих в разных

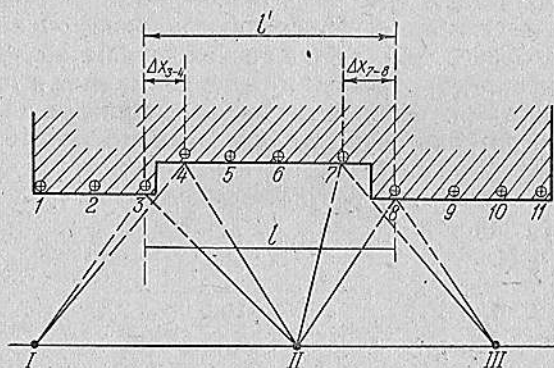


Рис. 2. Геодезические построения для связи координат марок, лежащих в разных плоскостях.

плоскостях, с трех точек базисного створа устанавливали расстояния между ближайшими точками каждой плоскости в начале и конце ее (рис. 2).

Углы измеряли оптическим теодолитом только одним приемом. Средняя квадратическая погрешность измерения угла, определенная по расхождениям между полуприемами, оказалась равной 12". Найденные значения Δx (рис. 2) в начале и

конце каждой плоскости позволяли производить контроль измерений лишь по створу. Средняя квадратическая погрешность определения координат по оси x , найденная по расхождениям длин отрезков по плоскостям (отрезки l и l' на рис. 2), равна 1,8 мм. Анализ показал, что координаты опорных точек определены со средней квадратической погрешностью $m_{x,z}=1,9$ мм, что соответствует установленным требованиям при съемке в масштабе 1 : 10.

Для прокладки планово-высотных ходов по вертикальной плоскости стены для определения координат опорных точек предложенным способом потребовалось в 5—6 раз меньше времени, чем при применении прямых геодезических засечек. Кроме того, во много раз меньше времени было затрачено на вычисления.

Трансформирование снимков выполнялось на фототрансформаторе ФТБ. Поскольку базис съемки располагался параллельно плоскости стены, трансформирование практически сводилось к увеличению снимков. При наличии выступающих элементов стены, трансформирование производилось по зонам. При коэффициенте увеличения, равном 3, размер снимков составлял примерно 20×40 см.

Для уменьшения деформации бумаги использовали фотобумагу с несмачивающейся подложкой, так как применение обычной фотобумаги допустимо при коэффициенте трансформирования не более 1—1,5, то есть для изготовления отпечатков, не превышающих 15×25 см.

Точность составления восьми фотопланов оценивалось по принятой методике, то есть по расхождениям на трансформационных точках, по порезам между снимками и по сводкам между планшетами. Оценка точности выполнена на основании 90 снимков. Контроль осуществлялся с помощью 182 трансформационных точек, 276 точек по порезам между снимками и 147 точек по сводкам. В результате получены средние квадратические погрешности

по точкам

$$m_1 = \sqrt{\frac{[\Delta^2_1]}{n_1}} + m_0^2 = \sqrt{\frac{15,3}{182}} + 0,2 = 0,32 \text{ мм}; \quad (1)$$

по порезам

$$m_2 = \sqrt{\frac{[\Delta^2_2]}{2n_2}} = \sqrt{\frac{89,0}{2 \cdot 276}} = 0,40 \text{ мм}; \quad (2)$$

по сводкам

$$m_3 = \sqrt{\frac{[\Delta^2_3]}{2n_3}} = \sqrt{\frac{61,1}{2 \cdot 147}} = 0,45 \text{ мм}; \quad (3)$$

общая оценка

$$m = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,32^2 + 0,40^2 + 0,45^2}{3}} = 0,40 \text{ мм.} \quad (4)$$

Оценка точности составленного плана была выполнена также по сравнению длин 603 деталей, измеренных в натуре рулеткой и по составленному фотоплану. Результаты измерений рулеткой взяты за истинные значения. Сгруппированные данные контрольных измерений приведены ниже:

Номер интервала	Расхождения в масштабе плана, мм	Количество (частота)	Частость (вероятность)	Накопленная частота	Накопленная частость
1	-1,50 -1,21	8	0,014	8	0,014
2	-1,20 -0,91	24	0,040	32	0,054
3	-0,90 -0,61	47	0,078	79	0,132
4	-0,60 -0,31	89	0,147	168	0,279
5	-0,30 -0,00	134	0,222	302	0,501
6	0,00 +0,30	127	0,218	429	0,719
7	+0,31 +0,60	80	0,132	509	0,851
8	+0,61 +0,90	55	0,090	564	0,941
9	+0,91 +1,20	28	0,043	592	0,984
10	+1,21 +1,50	11	0,016	603	1,000
		$\Sigma=603$	1,000		

По полученным данным составлена гистограмма и кривая накопленных частот (рис. 3).

Для характеристики результатов измерений вычислены средние квадратические значения расхождения между натурными измерениями и измерениями по фронтальному плану, а также асимметрия и эксцесс кривой распределения. Среднее квадратическое расхождение m равно 0,55 мм, эмпирическая асимметрия S_k составляет 0,007, а стандарт эмпирической асимметрии

$$\sigma(S_k) = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} \approx \sqrt{\frac{6}{n}} \approx \sqrt{\frac{6}{603}} = 0,1. \quad (5)$$

Асимметрию можно считать несущественной, поскольку выполняется условие $S_k < 3\sigma(S_k)$ ($0,007 < 3 \cdot 0,1$). Эмпирический эксцесс E_k равен -0,1, а стандарт эмпирического эксцесса

$$\sigma(E_k) = \sqrt{\frac{24 \cdot n \cdot (n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} \approx \sqrt{\frac{24}{n}} = \sqrt{\frac{24}{603}} = 0,25. \quad (6)$$

Эксцесс можно считать несущественным, так как

$$|E_k| < 3\sigma(E_k) \quad (0,1 < 3 \cdot 0,25) \quad (7)$$

Анализа погрешностей измерения на нормальность по асимметрии, эксцессу и по методу спрямления нормальной кривой

не достаточно. Для большей достоверности применяют более мощные критерии, из которых наиболее распространенными являются хи-квадрат и критерий А. Н. Колмогорова.

Нулевая гипотеза о принадлежности распределения к нормальному подтверждается, если

$$\chi^2 < \chi^2_{\alpha} \quad (8)$$

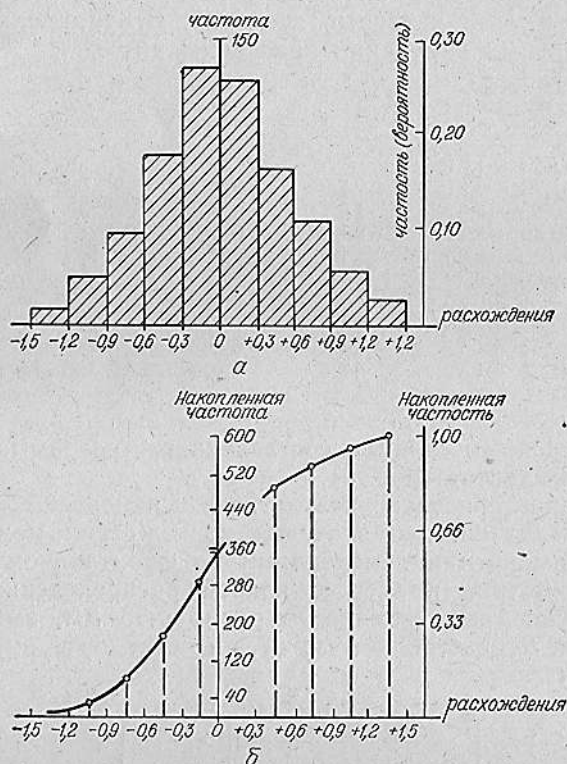


Рис. 3. Гистограмма (а) и кривая накопленных частот (б), построенные по данным контроля точности составления фотопланов в масштабе 1:10.

где χ^2_{α} — выбирают из таблиц по числу степеней свободы $k=n-3$ и α — уровню значимости. Поскольку полученное $\chi^2=7,0$ меньше значения найденных при уровне значимости $\alpha=0,05$ ($\chi^2_{\alpha}=14,1$), то нулевая гипотеза о нормальности распределения ошибок составления фотоплана в масштабе 1:10 не отвергается. Таким образом, вероятностно-статистический анализ результатов контроля составления фотоплана в масштабе 1:10 показал, что ошибки составления сверхкрупномасштабных планов подчиняются закону нормального распределения. Это дает возможность применять для оценки результатов

составления фотопланов общепринятую в теории ошибок измерений методику.

Сравнивая результаты оценки точности фотопланов по камеральному ($m_1=0,40$ мм) и полевому контролю ($m_2=0,55$ мм), видим, что при контроле по натуральным измерениям средняя квадратическая ошибка больше. Очевидно, это объясняется тем, что натурные измерения выполняют с некоторой погрешностью, тогда как при обработке их приняли безошибочными. Практически детали измеряют в натуре с округлением до 1 см, поскольку шероховатость граней кладки не позволила выполнить измерения точнее и, кроме того, полной индификации точек плана и стены добиться нельзя. Поэтому можно считать, что средняя квадратическая погрешность определения размеров деталей в натуре равна 0,33 см, или в масштабе плана $m_r=0,33$ мм. С учетом значения $m_r=0,33$ мм средняя квадратическая погрешность составления плана, найденная по контрольным натурным измерениям, составляет

$$m'_2 = \sqrt{m_2^2 - m_r^2} = \sqrt{0,55^2 - 0,33^2} = 0,45 \text{ мм.} \quad (9)$$

Сравнивая полученное значение $m'_2=0,45$ мм с $m_1=0,40$ мм, видим, что они практически равны между собой, что доказывает надежность и достоверность оценки точности составления фотоплана камеральным методом.

Полевой контроль показал, что вероятность появления ошибок меньше 0,5 мм составляет 0,72, а ошибок больше 1,0 мм, обусловленных остаточными искажениями «за рельеф» из-за отступления ряда деталей от плоскости трансформирования (отдельные швы камней кладки и т. д.), — 0,07.

Необходимо отметить, что ошибки, превышающие 1 мм, появляются главным образом на второстепенных, мелких контурах. Если оценку выполнять только по основным крупным деталям, то оказывается, что ошибки фотоплана, обусловленные непосредственно фотограмметрическими работами, не будут превышать 0,3—0,4 мм в масштабе плана. На основании анализа большого количества измерений можно считать, что найденные числовые характеристики распределения достаточно надежны. Так, оценивая среднюю квадратическую погрешность $m_{(m)}$ эмпирического стандарта m_1 (или m'_2) по формуле

$$m_{(m)} \approx m \frac{1}{\sqrt{2k}}, \quad (10)$$

где k — число степеней свободы, получаем $m_{(m)} \approx 0,42 \frac{1}{\sqrt{2 \cdot (603-1)}} = 0,012$ мм.

При таком значении $m_{(m)}$ с доверительной вероятностью $p=0,9973$ можно принять, что стандарт накрывается довери-

тельным интервалом $0,38 \text{ мм} < \delta_0 < 0,46 \text{ мм}$. Полученные выше разными способами значения средних квадратических погрешностей ($m=0,40 \text{ мм}$ и $m=0,45 \text{ мм}$) находятся в пределах установленного доверительного интервала.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что методом фототрансформирования можно составлять планы фасадов сооружений практически в любых масштабах с точностью, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к архитектурным обмерам.

Работа поступила 26 мая 1975 года. Рекомендована кафедрой автоматизации геодезических измерений Киевского инженерно-строительного института.