

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ОШИБОК ПЕРЕНОСА ГОРИЗОНТАЛЕЙ С АЭРОСНИМКОВ НА ФОТОПЛАН

При дифференцированном способе стереотопографической съемки горизонталей, зарисованные на аэроснимке при помощи стереометра, переносятся на фотоплан. Перенос горизонталей с аэроснимков на фотоплан выполняется по-разному: в районах, богатых контурами, горизонталей переносятся визуально, путем сличения одноименных контуров на снимке и фотоплане, в соответствии с чем проводят горизонталей; при однообразной или недостаточной контурности горизонталей переносят при помощи стереоскопа ЛЗ или одиночного проектора.

Процесс переноса горизонталей с аэроснимков на фотоплан, как правило, сопровождается ошибками. Точность переноса горизонталей при любом способе будет зависеть прежде всего от точности положения контуров на фотоплане и углов наклона местности.

В практике геодезических работ для предвычисления ожидаемой точности измерений принято пользоваться удвоенной средней квадратической ошибкой, т. е. $2m$. Однако применение этого правила обосновано лишь в том случае, когда ошибки измерений носят случайный характер и подчиняются закону нормального распределения.

В ранее проведенных исследованиях [1] нами было установлено, что ошибки в высотах точек, определенных по горизонталям плана стереотопографической съемки, бывают как случайные, так и систематические. Поскольку ошибки переноса горизонталей принимают участие, наряду с ошибками других источников, в образовании суммарной ошибки положения горизонталей на фотоплане, необходимо выяснить их характер.

Для того чтобы установить характер распределения ошибок переноса горизонталей с аэроснимков на фотоплан, мы провели специальные исследования, результаты которых и приводятся в настоящей статье.

Распределение ошибок переноса горизонталей с аэроснимков на фотоплан масштаба 1 : 5 000

Пределы ошибок, м	При визуальном способе					При помощи проектора					При помощи стереоскопа ЛЗ				
	действительное число ошибок			теоретическое число ошибок	разность	действительное число ошибок			теоретическое число ошибок	разность	действительное число ошибок			теоретическое число ошибок	разность
	+	-	всего			+	-	всего			+	-	всего		
0,00—0,10	71	67	138	127	+11	58	66	124	111	+13	64	68	132	110	+22
0,11—0,20	18	18	36	48	-12	23	16	39	55	-16	14	20	34	55	-21
0,21—0,30	4	4	8	7	+1	7	9	16	14	+2	6	7	13	15	-2
0,31—0,40	—	—	—	—	—	1	2	3	2	+1	2	1	3	2	+1
Итого	93	89	182	182	0	89	93	182	182	0	86	96	182	182	0
Средняя квадратическая ошибка, м	±0,097					±0,117					±0,121				
Среднее из всех ошибок, м	+0,0012					-0,0047					-0,0056				

Для получения необходимых данных зарисованные при помощи стереометра горизонталы с аэроснимков были перенесены на репродукции фотоплана масштаба 1 : 5000 тремя способами: визуальным — по контурам, при помощи одиночного проектора и при помощи стереоскопа ЛЗ. Эта работа была выполнена дипломанткой Л. Н. Кашкадамовой под руководством автора.

Дальнейшая обработка велась нами в следующем порядке:

1. На аэроснимки и репродукции фотоплана наносились контрольные точки, а затем путем графической интерполяции по горизонталям определялись отметки контрольных точек.

2. Определялись разности отметок одноименных контрольных точек по формуле

$$\Delta = H_{\phi} - H_{c},$$

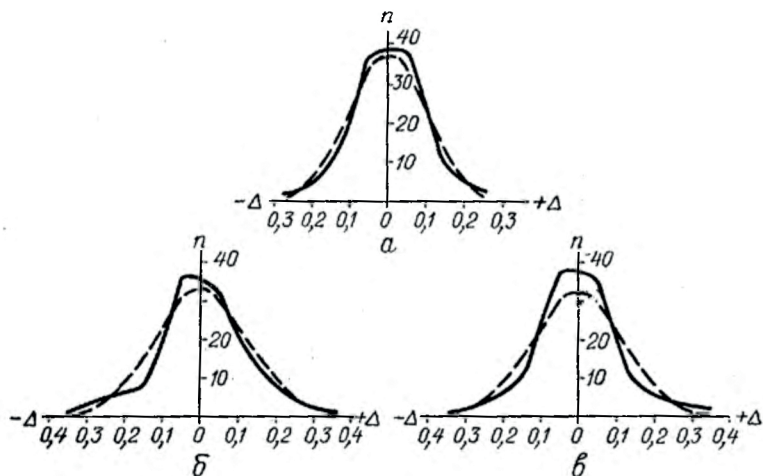
где H_{ϕ} — отметка точки, определенная по горизонталям фото-плана;

H_c — отметка той же точки, определенная по горизонталям аэроснимка.

3. Вычислялись средние квадратические ошибки переноса горизонталей по формуле

$$m_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}},$$

где n число ошибок.



Графики кривых распределения ошибок

а — при визуальном способе; б — при помощи проектора; в — при помощи стереоскопа.

4. Полученные разности группировались в ряды по абсолютным величинам и знакам с интервалом через 0,1 м.

5. Вычисляли теоретическое количество ошибок в каждом интервале, которое должно быть при нормальном распределении ошибок в данном ряду измерений.

Порядок вычисления теоретического количества ошибок описан в работе автора [1]. Результаты вычислений показаны в таблице 1.

Для наглядного представления о сходимости действительных рядов с теоретическими (по данным табл. 1) построены совмещенные графики кривых действительного и нормального распределения ошибок.

На графиках сплошной линией обозначены ряды действительного распределения; пунктирной — ряды нормального распределения; n — число ошибок в %; Δ — значение ошибок в м.

Из таблицы 1 и графиков кривых видно, что во всех трех рядах характер распределения ошибок переноса горизонталей примерно одинаков. Но наиболее близко к нормальному подходят два первых ряда. В третьем ряду наблюдается некоторое отклонение от нормального распределения, в общем же и этот ряд можно считать нормальным.

Средние из суммы всех ошибок во всех рядах малы, т. е. ошибки рассматриваемых рядов обладают свойством компенсации. Суммы положительных и отрицательных ошибок приблизительно одинаковы. Кривые действительного распределения больших отклонений от кривых нормального распределения не имеют.

Проведенный выше анализ не дает возможности оценить количественно степень отклонения действительных рядов от нормального распределения. Для более объективной оценки характера распределения используют так называемые эксцесс и асимметрию.

Эксцесс E вычисляется по формуле

$$E = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3,$$

где μ_4 — центральный момент четвертого порядка;

μ_2 — центральный момент второго порядка.

Асимметрия γ вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}},$$

где μ_3 — центральный момент третьего порядка.

При нормальном распределении $E=0$, $\gamma=0$.

Приближенные значения центральных моментов могут быть вычислены по результатам измерений при помощи следующих формул:

$$\mu_1 = \frac{[\Delta]}{n}; \quad \mu_2 = \frac{[\Delta^2]}{n}; \quad \mu_3 = \frac{[\Delta^3]}{n}; \quad \mu_4 = \frac{[\Delta^4]}{n},$$

где Δ — истинные ошибки измерений;

n — число измерений, которое должно быть достаточно большим.

Однако при большом количестве ошибок вычисления моментов по приведенным выше формулам требуют затраты большого количества труда, поэтому нами был использован более простой, применяемый в статистике способ сумм. Техника вычисления моментов этим способом описана в работе Ю. В. Кемница [2].

Результаты статистической обработки данных рядов таблицы 1 приведены в таблице 2. Кроме значений моментов, экс-

Числовые характеристики распределения ошибок в рядах

Наименование показателей	При визуальном способе переноса	При помощи проектора	При помощи стереоскопа ЛЗ
Число ошибок n	182	182	182
Средняя квадратическая ошибка $m_{\text{пер}}, \mu$	$\pm 0,097$	$\pm 0,117$	$\pm 0,121$
Первый момент μ_1	$+0,0012$	$-0,0047$	$-0,0056$
Второй момент μ_2	0,009092	0,014037	0,012470
Третий момент μ_3	$-0,0000276$	$-0,0002344$	$+0,0002412$
Четвертый момент μ_4	0,0002766	0,0005840	0,0006284
Эксцесс E	$+0,344$	$-0,036$	$+1,042$
Асимметрия γ	$-0,001$	$-0,020$	$+0,030$
Средняя квадратическая ошибка вычисления эксцесса m_E	$\pm 0,363$	$\pm 0,363$	$\pm 0,363$
Допустимое отклонение эксцесса от нуля $E_{\text{доп}}$	$\pm 1,089$	$\pm 1,089$	$\pm 1,089$
Средняя квадратическая ошибка вычисления асимметрии m_γ	$\pm 0,182$	$\pm 0,182$	$\pm 0,182$
Допустимое отклонение асимметрии $\gamma_{\text{доп}}$	$\pm 0,546$	$\pm 0,546$	$\pm 0,546$

цессов и асимметрии, в ней даны значения средних квадратических ошибок эксцессов и асимметрии, вычисленные по формулам [3]:

$$m_E = \sqrt{\frac{24}{n}} \quad \text{и} \quad m_\gamma = \sqrt{\frac{6}{n}},$$

где n — число ошибок ряда.

Произведена оценка допустимости полученных отклонений значений эксцесса и асимметрии от нуля по формулам:

$$E_{\text{доп}} = 3m_E, \quad \gamma_{\text{доп}} = 3m_\gamma.$$

Рассматривая таблицу 2, видим, что в первых двух рядах эксцессы незначительны, а в третьем ряду не выходят за пределы допустимого отклонения. Известно, что если $E < 3m_E$,

то с большей вероятностью можно считать эксцесс несущественным, а распределение ошибок опытного ряда — нормальным.

Асимметрия кривой распределения во всех трех рядах незначительно отклоняется от нуля и может быть признана также несущественной, т. е. можно считать, что в данных рядах измерений отсутствуют систематические ошибки.

Из анализа результатов исследований, помещенных в таблицах 1 и 2, можно сделать следующие выводы:

1. Ошибки переноса горизонталей с аэроснимков на фотоплан носят случайный характер и обладают нормальным распределением.

2. Поскольку ошибки переноса горизонталей носят случайный характер, систематические ошибки в высотах точек, определенных по горизонталям плана стереотопографической съемки, возникают в процессе обработки аэроснимков на стереомере, что и подтверждает ранее сделанные нами выводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Колюхов. Исследование свойств ошибок в высотах точек, определенных по горизонталям плана стереотопографической съемки. Научные записки Львовского политехнического института, серия геодезическая № 6, Львов, 1961.

2. Ю. В. Ксениц. О функции распределения ошибок измерений. Журнал «Геодезия и картография» № 10, 1957.

3. В. И. Романовский. Математическая статистика. ОНТИ, М. 1938.