

УДК 528.92

В. С. КЛОЧКО, П. В. КЛОЧКО

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ ОТРЕЗКА ПРЯМОЙ НА КАРТЕ

В картографии и топографии для измерения и построения отрезка прямой на карте и плане обычно применяют циркуль-измеритель и поперечный масштаб. Точность такого измерения, как и построения, практически одинакова и характеризуется средней квадратической погрешностью, равной 0,09 мм [2].

В некоторых случаях, например при проектировании инженерных сооружений, для решения различных картометрических задач взамен циркуля используют простую миллиметровую линейку (с глазомерной оценкой десятых долей деления), что ускоряет соответствующие работы более чем в два раза. В связи с этим возникает вопрос: нельзя ли повысить эффективность измерений, применяя миллиметровую линейку и обеспечивая заданную точность, например, не ниже той, которую дает циркуль-измеритель?

Чтобы ответить на этот вопрос, авторы поставили специальный эксперимент.

Экспериментом было предусмотрено исследование точности измерения длины перпендикуляров, построенных глазомерно в виде кратчайших расстояний от заданной точки к прямой и кривой (что наблюдается при определении координат и отметки точки на карте); определение точности измерения длины отрезка прямой, фиксированной конечными точками; изучение личного фактора наблюдателя и влияния длины линии на точность ее измерения.

Эксперимент проводили по методу моделирования: на моделях 1 и 2 измеряли перпендикуляры к прямой соответственно длиной в пределах 5...15 и 95...105 мм; на моделях 3 и 4 — перпендикуляры к кривой в пределах 5...15 и 45...55 мм и 5 и 6 — отрезки прямой в пределах 5...15 и 95...105 мм.

Модели изготовлены фотомеханическим способом. Для этого на отдельных планшетах в масштабе в пять раз крупнее масштаба модели были построены соответствующие линии и точки на заданных расстояниях. Например, при изготовлении модели 1 на планшет наносили точки относительно прямой на расстояниях 47,5; 56,0 мм, чтобы на модели аналогичные величины были точно равны 9,5; 11,2 мм и т. д. Затем с планшетов изготавливали

Рассмотрение перечисленных примеров позволяет констатировать, что стандартизованная методика дает простое решение вопроса о влиянии погрешностей исходных данных на положение определяемой точки, причем соотношение затрат на ее осуществление и объем получаемой информации свидетельствует в пользу данной методики. Эта методика универсальна и может применяться также для оценки засечек при неравноточных из-

Характеристика точности засечек

Таблица 3

Засечка	M, см	A ₀ , см	B ₀ , см	m _x ^{УГ} , см	m _y ^{УГ} , см	m _z ^{УР} , см			m _z ^{УР} , с		
						I-P	II-P	III-P	I-P	II-P	III-P
Прямая угловая	7,0	5,2	4,6	5,1	4,9	5,2	4,5	5,2	3,4	2,7	2,2
	3,5	2,6	2,3	2,5	2,5	2,6	2,4	2,5	1,7	1,3	1,1
Азимутальная	7,3	5,8	4,4	4,6	5,8	5,4	5,0	5,8	3,9	2,8	2,0
	4,2	3,4	2,4	3,1	2,9	3,4	2,5	3,4	1,9	1,7	1,2
Обратная угловая	11,1	9,6	5,7	7,9	8,1	9,2	5,8	9,0	5,0	4,9	3,0
	5,4	5,0	2,2	3,1	4,5	4,4	2,8	4,9	2,4	2,4	1,1
Комбинированная	5,8	4,6	3,6	4,1	4,4	4,9	3,6	4,5	2,8	2,4	1,8
	2,8	2,3	1,6	1,8	2,1	2,2	1,8	2,3	1,3	1,2	0,7
Линейная	12,3	10,1	7,0	8,8	9,0	7,1	10,0	7,8	7,6	3,6	4,4
	10,7	8,9	6,1	7,7	7,7	6,1	8,9	6,8	6,5	3,0	3,8
Линейно-угловая	5,4	4,2	3,4	3,8	3,5	4,0	3,4	4,0	2,5	2,2	1,6
	2,9	2,4	1,7	1,8	2,1	2,3	1,8	2,3	1,3	1,2	0,7

Примечание: В числителе указаны погрешности с учетом исходных данных, в знаменателе — без учета исходных данных.

мерениях угловых и линейных элементов и любом их сочетании. Получаемые результаты соответствуют оценке точности после уравнивания по способу наименьших квадратов [3].

Список литературы: 1. Ганьшин В. Н. Влияние ошибок исходных данных на положение точки, вынесенной на местность. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1972, № 4. 2. Корняк В. А. О влиянии ошибок исходных данных на точность выноса проекта в натуру. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1973, № 6. 3. Шеховцов Г. А. Сравнение вариантов и выбор оптимального при азимутальной засечке. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 29. 4. Шеховцов Г. А. Оценка точности линейной засечки графическим способом. — Геодезия и картография, 1979, № 2. 5. Шеховцов Г. А. О подере линейно-угловой засечки. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1980, вып. 31. 6. Яромлович И. П. Вычисление ошибки положения определяемого пункта с учетом ошибок исходных пунктов. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1962, № 1. 7. Михаилович Крунислав. Определене тарака методом пресецања. — 36. Геод. ин-та Ун-т Београду, 1973, № 14. 8. Vosić Otakar. Zavislost ekrpsy chyb vytyčeného bodu na chybách vytyčovací sítě. — Geod. a Kartogr. obz., 1973, t. 19, № 10.

Статья поступила 10 марта 1980 г.

фотокопии в масштабе модели. Пятикратное уменьшение исходных построений резко повысило точность моделей. Возможное отклонение от заданного масштаба, поскольку в пределах одной модели оно является практически постоянным для всех линий, можно исключить вычислительным путем.

Для изучения личного фактора к участию в эксперименте были привлечены 30 наблюдателей: 2 преподавателя и 28 студентов второго курса строительного факультета Харьковского инженерно-строительного института и Харьковского государственного университета, получивших необходимые навыки графических измерений во время прохождения учебной практики по геодезии. Чтобы определить индивидуальную точность, каждый наблюдатель на каждой модели измерил по 24 объекта. Это позволило исключить грубые погрешности и определить истинную:

$$\Delta_i = a_i - \bar{a}_i, \quad (1)$$

где a_i , \bar{a}_i — измеренное и модельное значения величины.

Дальнейшему анализу полученных данных предшествовало исключение постоянных погрешностей. Общую постоянную погрешность c определяли по обычной формуле

$$c = 1/n \sum \Delta_i, \quad (2)$$

где n — количество измерений на модели, равное в данном случае 24.

Так как каждую модель измеряли 30 наблюдателей, это позволило определить систематическую погрешность c_{ϕ} , зависящую от фототрансформации модели:

$$c_{\phi} = 1/N \sum c_j, \quad j = 1, 2, \dots, 30, \quad (3)$$

где N — количество наблюдателей; c_j — постоянная общая погрешность наблюдателя.

В табл. 1 и 3 приведены погрешности в «чистом» виде, т. е. постоянные индивидуальные погрешности

$$c_0 = c - c_{\phi}. \quad (4)$$

Случайная погрешность $\Delta_i - c$ положена в основу вычисления средней квадратической погрешности m по формуле размаха [4]

$$m = \bar{R} / \alpha_r, \quad (5)$$

где $\bar{R} = 1/p \sum R_i$ — размах, осредненный по частным размахам R_i ; α_r — математическое ожидание нормированного размаха.

Исходя из необходимости минимальной потери точности вычисления величины m [3], величина r принята равной 8, следовательно, при $n=24$ имеем $p=3$ и $\alpha_r=2,85$ [4].

В результате применения критерия Корню [1] установлено, что случайные величины $\Delta_i - c$ подчиняются нормальному за-

Таблица 1

Погрешности измерений на моделях 1—4

Наблюдатель	Модель											
	1			2			3			4		
	m	c_0	Δ_{Π}	m	c_0	Δ_{Π}	m	c_0	Δ_{Π}	m	c_0	Δ_{Π}
1	±0,09	-0,05	0,23	±0,13	-0,01	0,27	±0,14	+0,07	0,35	±0,10	-0,02	0,22
2	0,13	-0,03	0,29	0,13	+0,02	0,28	0,11	-0,04	0,26	0,11	0,00	0,22
3	0,10	+0,06	0,26	0,12	0,00	0,24	0,10	+0,01	0,21	0,11	+0,02	0,24
4	0,15	+0,04	0,34	0,13	+0,06	0,32	0,12	0,00	0,24	0,10	+0,03	0,23
5	0,09	-0,01	0,19	0,06	0,00	0,12	0,12	-0,03	0,27	0,12	+0,03	0,27
6	0,13	0,00	0,26	0,11	-0,01	0,23	0,14	+0,01	0,29	0,09	-0,04	0,22
7	0,11	+0,07	0,29	0,08	-0,01	0,17	0,13	-0,01	0,27	0,10	+0,08	0,28
8	0,13	-0,05	0,31	0,08	+0,03	0,19	0,11	+0,05	0,27	0,13	-0,02	0,28
9	0,13	+0,03	0,29	0,14	0,00	0,28	0,12	-0,04	0,28	0,12	+0,05	0,29
10	0,11	+0,05	0,27	0,12	-0,02	0,26	0,12	+0,02	0,26	0,12	-0,03	0,27
11	0,11	+0,05	0,27	0,11	+0,07	0,29	0,14	0,00	0,28	0,14	+0,06	0,34
12	0,08	0,00	0,16	0,10	+0,01	0,21	0,10	+0,01	0,21	0,09	+0,03	0,21
13	0,09	-0,05	0,23	0,09	0,00	0,18	0,07	-0,00	0,18	0,09	-0,07	0,25
14	0,10	+0,05	0,25	0,11	-0,01	0,23	0,12	+0,07	0,31	0,11	-0,05	0,27
15	0,07	-0,03	0,17	0,09	+0,06	0,24	0,07	-0,04	0,18	0,11	-0,01	0,23
16	0,02	-0,03	0,19	0,09	0,00	0,18	0,08	+0,01	0,17	0,08	-0,01	0,17
17	0,09	0,00	0,18	0,09	0,00	0,18	0,10	-0,03	0,23	0,09	+0,02	0,20
18	0,11	-0,05	0,27	0,08	0,00	0,16	0,12	-0,05	0,29	0,07	0,00	0,14
19	0,10	-0,03	0,23	0,09	-0,02	0,20	0,11	+0,01	0,23	0,10	+0,01	0,21
20	0,09	+0,05	0,23	0,08	+0,06	0,22	0,11	+0,05	0,27	0,09	-0,01	0,19
21	0,11	-0,02	0,23	0,09	+0,04	0,22	0,12	+0,06	0,30	0,12	+0,07	0,31
22	0,07	-0,02	0,16	0,07	+0,06	0,20	0,09	-0,01	0,19	0,06	0,00	0,12
23	0,07	-0,03	0,17	0,09	-0,04	0,22	0,10	-0,02	0,22	0,09	-0,04	0,22
24	0,08	-0,02	0,18	0,08	-0,03	0,19	0,11	-0,08	0,30	0,10	-0,04	0,24
25	0,11	0,00	0,22	0,09	-0,08	0,26	0,13	-0,07	0,33	0,10	-0,05	0,25
26	0,11	+0,01	0,23	0,10	+0,02	0,22	0,13	+0,07	0,33	0,14	-0,02	0,30
27	0,09	0,00	0,18	0,10	-0,02	0,22	0,08	-0,05	0,21	0,08	+0,02	0,18
28	0,11	+0,05	0,27	0,12	-0,01	0,25	0,12	+0,06	0,30	0,13	0,00	0,26
29	0,09	-0,04	0,22	0,06	+0,06	0,18	0,07	-0,02	0,16	0,09	-0,01	0,19
30	0,08	-0,02	0,18	0,10	+0,04	0,24	0,12	+0,03	0,27	0,11	+0,05	0,27

кону. Это дало основание принять критерий F (Фишера) для изучения влияния длины линии на точность измерения, т. е. для сопоставления соответствующих измерений на моделях 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6.

Согласно критерию Фишера, неравенство оценок двух дисперсий $m_1^2 > m_2^2$ является значимым, если [4]

$$F = \frac{m_1^2}{m_2^2} > F_y, \quad (6)$$

где F_y — статистический предел, зависящий от степеней свободы $k_1 = n_1 - 1$ и $k_2 = n_2 - 1$ и уровня значимости α . При $n_1 = n_2 = 24$ и $\alpha = 5$ и 1% имеем $F_5 = 2,01$ и $F_1 = 2,72$ [4].

Полученные величины F (табл. 2 и 3) показывают, что подавляющее число сопоставляемых оценок дисперсий удовлетворяет 5%-ному уровню значимости и только некоторые из них — 1%-ному уровню. Следовательно, точность измерения

перпендикуляров и прямых в заданных пределах практически не зависит от длины измеряемых величин.

Для полной характеристики точности измерений вычислены погрешности Δ_n , исходя из доверительной вероятности в 0,95, т. е. по формуле $\Delta_n = 2m + c_0$.

Из табл. 1 и 3 видно, что точность измерений во многом зависит от личного фактора. По первым двум моделям погрешности изменяются в связи с этим в пределах $0,06 \leq m \leq 0,15$ мм, $-0,07 \leq c_0 \leq 0,07$ мм; $0,12 \leq \Delta_n \leq 0,34$ мм.

Таблица 2

Наблюдатель	$m^2 \cdot 10^4$		F	$m^2 \cdot 10^4$		F
	m_1^2	m_2^2		m_3^2	m_4^2	
1	81	169	2,09	196	100	1,96
2	169	169	1,00	121	121	1,00
3	100	144	1,44	100	121	1,21
4	225	169	1,33	144	100	1,44
5	81	36	2,25	144	144	1,00
6	169	121	1,40	196	81	2,42
7	121	64	1,89	169	100	1,69
8	169	64	2,64	121	169	1,39
9	169	196	1,16	144	144	1,00
10	121	144	1,19	144	144	1,00
11	121	121	1,00	196	196	1,00
12	64	100	1,56	100	81	1,23
13	81	81	1,04	49	81	1,65
14	100	121	1,21	144	121	1,19
15	49	81	1,65	49	121	2,47
16	64	81	1,26	64	64	1,00
17	81	81	1,00	100	81	1,23
18	121	64	1,89	144	49	2,94
19	100	81	1,23	121	100	1,21
20	81	64	1,26	121	81	1,50
21	121	81	1,50	144	144	1,00
22	49	49	1,00	81	36	2,25
23	49	81	1,65	100	81	1,23
24	64	64	1,00	121	100	1,21
25	121	81	1,49	169	100	1,69
26	121	100	1,21	169	196	1,16
27	81	100	1,24	64	64	1,00
28	121	144	1,19	144	169	1,18
29	81	36	2,25	49	81	1,65
30	64	100	1,56	144	121	1,19

По моделям 3 и 4 имеем соответственно $0,06 \leq m \leq 0,14$ мм, $-0,08 \leq c_0 \leq 0,08$ мм и $0,12 \leq \Delta_n \leq 0,35$ мм. Отсюда, в частности, следует, что точность измерения перпендикуляра как к прямой, так и к кривой практически одинакова. Аналогично точность измерения отрезков линии на моделях 5 и 6 изменяется в зависимости от личного фактора в пределах $0,04 \leq m \leq 0,14$ мм; $-0,05 \leq c_0 \leq 0,04$ мм и $0,10 \leq \Delta_n \leq 0,31$ мм.

Таким образом, полученные данные характеризуются вполне определенной закономерностью: во всех измерениях нижний

предел погрешности Δ_n является значительно меньшим по сравнению с предельной погрешностью циркулярных измерений, равной 0,18 мм. Иными словами, часть наблюдателей (например, при измерениях на моделях 5 и 6 их оказалось более половины) измеряют миллиметровой линейкой с точностью не ниже точности циркулярных измерений. Поскольку же наблюдатели настоящего эксперимента составляют статистическую выборку из генеральной совокупности лиц, решающих подобные

Таблица 3

Погрешности и дисперсии измерений на моделях 5 и 6

Наблюдатель	Модель						$m^2 \cdot 10^4$	$m^2 \cdot 10^4$	F
	5			6					
	m	c_0	Δ_n	m	c_0	Δ_n			
1	$\pm 0,09$	-0,02	0,20	$\pm 0,11$	0,00	0,22	81	121	1,50
2	0,11	+0,01	0,23	0,11	+0,03	0,25	121	121	1,00
3	0,09	+0,04	0,22	0,10	-0,05	0,25	81	100	1,24
4	0,12	0,00	0,24	0,11	+0,03	0,25	144	121	1,19
5	0,08	+0,04	0,20	0,10	-0,04	0,24	64	100	1,56
6	0,10	-0,04	0,24	0,11	+0,02	0,24	100	121	1,21
7	0,08	0,00	0,16	0,10	-0,01	0,21	64	100	1,56
8	0,02	-0,01	0,20	0,11	-0,03	0,25	64	121	1,89
9	0,13	0,00	0,26	0,14	+0,03	0,31	169	196	1,16
10	0,09	-0,04	0,22	0,12	+0,01	0,25	81	144	1,78
11	0,12	+0,03	0,27	0,12	0,00	0,24	144	144	1,00
12	0,06	-0,05	0,17	0,05	-0,03	0,13	36	25	1,44
13	0,06	+0,02	0,14	0,07	0,00	0,14	36	44	1,36
14	0,10	0,00	0,20	0,10	-0,03	0,23	100	100	1,00
15	0,05	-0,04	0,14	0,07	-0,01	0,15	25	49	1,96
16	0,04	-0,04	0,12	0,04	+0,04	0,12	16	16	1,00
17	0,07	+0,02	0,16	0,06	-0,03	0,15	49	36	1,36
18	0,07	+0,04	0,18	0,09	0,00	0,18	49	81	1,65
19	0,06	+0,01	0,13	0,00	+0,04	0,22	36	81	2,25
20	0,04	-0,02	0,10	0,06	0,00	0,12	16	36	2,25
21	0,10	-0,03	0,23	0,10	-0,01	0,21	100	100	1,00
22	0,05	+0,02	0,12	0,06	+0,03	0,15	26	36	1,44
23	0,06	+0,04	0,16	0,08	-0,01	0,17	36	64	1,78
24	0,08	-0,03	0,19	0,07	+0,01	0,15	64	49	1,30
25	0,10	+0,02	0,22	0,10	+0,03	0,23	100	100	1,00
26	0,13	+0,03	0,29	0,11	+0,03	0,25	169	121	1,40
27	0,07	0,00	0,14	0,08	-0,01	0,17	49	64	1,30
28	0,10	+0,04	0,24	0,10	-0,01	0,21	100	100	1,00
29	0,08	-0,04	0,20	0,09	+0,01	0,19	64	81	1,26
30	0,06	+0,04	0,16	0,06	-0,02	0,14	36	36	1,00

задачи, можно утверждать, что эта закономерность присуща всем вообще, поэтому она может быть положена в основу метода повышения эффективности измерения на карте.

Метод заключается в замене циркуля-измерителя миллиметровой линейкой (с глазомерной оценкой десятых долей деления) для измерения и построения при наличии положительной аттестации наблюдателя. В качестве критерия положительной аттестации принимается предельная погрешность измерений,

выполненных на соответствующей модели, не превышающая нормативного значения. Так как точность измерений длины отрезка линии практически не зависит от ее длины, а точность измерения длины перпендикуляра к прямой и к кривой одинакова, имеется основание применить для аттестации вместо шести моделей только две: модель 5 — для измерения отрезка линии и модель 1 — для измерения длины перпендикуляра. В первом случае нормативная предельная погрешность принимается равной 0,18 мм, т. е. практически 0,2 мм, а во втором, где к точности измерения предъявляются меньшие требования, может быть увеличена до 0,3 мм.

Аттестационная модель должна содержать не менее 24 измеряемых объектов, поскольку в этом случае погрешность средней квадратической погрешности, определяемая по формуле

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}},$$
 где n — количество измерений, на модели будет

близка к 0,01 мм, что не окажет существенного влияния на надежность аттестации.

Вычислительная обработка результатов аттестации производится по формулам (1) — (5).

Список литературы: 1. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1963. 2. Гержула Б. И. Геодезия в промышленном строительстве. — М.: Геодезиздат, 1957. 3. Ключко В. С. Применение размаха при оценке точности измерений. — Геодезия и картография, 1978, № 4. 4. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. — М.: Физматгиз, 1959.

Статья поступила 15 апреля 1980 г.

УДК 528.97(084.3)

П. И. КОНЮХОВ

О ПОВЫШЕНИИ ИНФОРМАТИВНОСТИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ КАРТ ПРИ ИЗОБРАЖЕНИИ ОВРАЖНЫХ, КАРСТОВЫХ И ОПОЛЗНЕВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

Рельеф, представляющий собой совокупность разнородных форм физической поверхности, — наиболее важный элемент географического ландшафта. Правильное и полное изображение форм рельефа на топографических планах и картах имеет большое научное и практическое значение.

В настоящее время использование топографических карт крупного масштаба стало совершенно необходимым во всех работах, связанных со знанием и обстоятельным учетом особенностей рельефа местности, а именно: в проведении изысканий и проектировании всевозможных инженерных сооружений, при

проведении мелиоративных, гидротехнических, инженерно-геологических и других изысканий, в мероприятиях по борьбе с эрозией почв и решении многих инженерных задач.

Считая топографическую карту важнейшим средством изучения и анализа рельефа, следует иметь в виду хорошую карту, полностью отвечающую современным требованиям к изображению на ней всех элементов географического ландшафта. Между тем в настоящее время в топографических картах крупных масштабов изображение рельефа имеет существенные недостатки, особенно в изображении овражных, карстовых и оползневых форм рельефа. Это объясняется тем, что в современной топографии и геодезии вопросам геоморфологии уделяется мало внимания.

В существующих официальных наставлениях по топографическим съемкам обычно фигурируют только названия отдельных форм и элементов рельефа: скат, лощина, вершина, уступ, промоина, овраг и т. д.

Совершенно ясно, что установление закономерностей в изображении тех или иных форм рельефа без освещения вопросов их происхождения невозможно. Применение геоморфологических знаний в топографии является одним из путей повышения качества и информативности топографических карт.

Анализ условных знаков, действующих в различные периоды, показывает, что знаки для изображения эрозионного рельефа и отдельных его форм почти не менялись. Так, в существующих условных знаках 1973 г. для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000 для изображения оврагов дан такой же условный знак, как и для масштабов 1 : 50 000 и 1 : 25 000 с некоторыми добавлениями числовых характеристик элементов оврага. Изображение на топографических картах крупного масштаба подобным условным знаком не раскрывает характера бровок и склонов оврага, не дает информацию о стадии развития оврага.

Применяемые в настоящее время для изображения карстовых и оползневых форм рельефа условные знаки также имеют существенные недостатки: они не дают полной информации и не отражают морфологических особенностей карстовых форм рельефа на разных стадиях их развития.

Изучение основных законов образования исследуемого рельефа облегчает решение задачи повышения качества изображения эрозионных форм рельефа в полном соответствии с их природными особенностями, дает возможность разработать научно обоснованные методы и средства изображения данных форм рельефа в соответствии с назначением и масштабом карт.

Овраги как одна из разновидностей эрозионного рельефа образуются под действием глубинной и боковой эрозии. Они обычно возникают из промоин на крутых склонах. Их развитию способствует целый ряд факторов — как естественноисторических (крутизна ската, количество атмосферных осадков, рых-