

С. Н. ХОДОРОВ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МНОГОРАЗРЯДНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ НИЧТОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Критерием, обуславливающим ничтожное влияние ошибок исходных данных на ошибки измерений в соответствующих стадиях Развития геодезического обоснования при проектировании много-Разрядных геодезических построений, является коэффициент обеспечения точности k , который в общем случае характеризуется отношением ошибок измерений к ошибкам исходных данных. В гео-

дезической литературе значение коэффициента представляется различными авторами от 1,1 до 9,0 с учетом того, что чем больше коэффициент обеспечения точности, тем меньше влияние ошибок исходных данных. Поэтому в практике создания многоступенчатых геодезических построений значения указанного коэффициента иногда необоснованно завышают, руководствуясь соображениями улучшения точностных параметров сетей. Однако с возрастанием

Таблица 1

**Расчет средних квадратических ошибок положения пунктов
многоразрядных геодезических построений**

k	$m_i, \text{ CM}$								
	$n=2$		$n=3$			$n=4$			
	$i=1$	$i=2$	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$
$\sqrt{2}$	5,8	8,2	3,8	5,3	7,5	2,6	3,7	5,2	7,3
2	4,5	8,9	2,2	4,4	8,7	1,1	2,2	4,3	8,7
3	3,2	9,5	1,0	3,1	9,4	0,3	1,0	3,1	9,4
4	2,4	9,7	0,6	2,4	9,7	0,15	0,6	2,4	9,7
5	2,0	9,8	0,4	2,0	9,8	0,08	0,4	2,0	9,8

коэффициента обеспечения точности существенно повышаются затраты на производство геодезических работ, что не всегда принимается во внимание.

Цель настоящей статьи — установление зависимостей между точностными и стоимостными показателями многоразрядных геодезических построений.

Стоимость — адекватное отражение точности произведенных геодезических измерений. Однако общее решение задачи по нахождению взаимосвязей между ошибками измерений и затратами на них отыскать трудно. Поэтому предлагаем метод приближенного определения взаимосвязей для сетей многоразрядной триангуляции.

Выполним предрасчет точности для двух-, трех- и четырехразрядных триангуляционных построений при различных значениях коэффициента обеспечения точности *k* по формуле [5]

$$m_i = \frac{m_0 k^{i-1}}{\sqrt{1 + k^2 + k^4 + \dots + k^{2(n-1)}}}, \quad (1)$$

где *m*₀ — заданная точность построения геодезического обоснования; *m*_{*i*} — средняя квадратическая ошибка в положении пункта соответствующего разряда; *n* — количество разрядов обоснования; *i* — порядковый номер разряда. При этом для масштаба съемки 1 : 500 *m*₀ = 10 см. Результаты расчетов по (1) приведены в табл. 1.

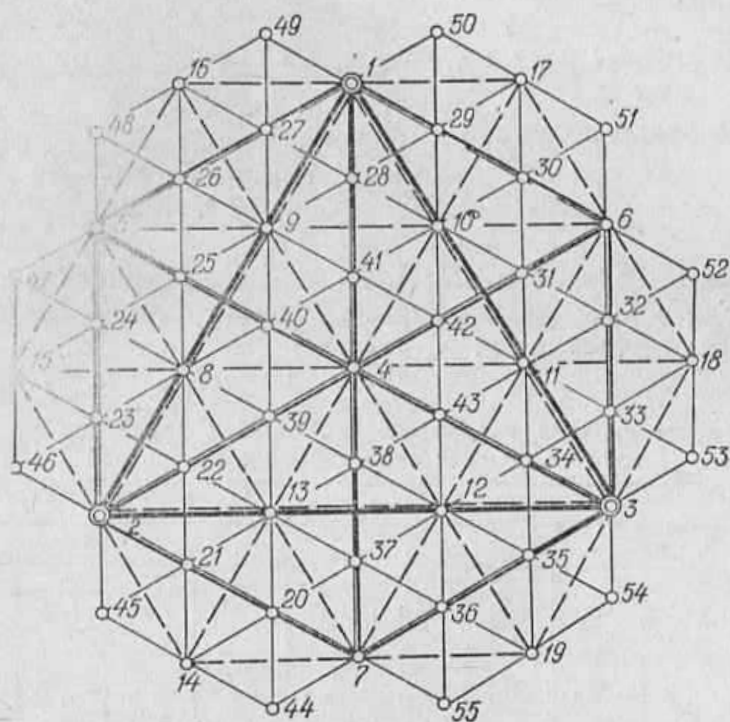
Полагая далее в известной формуле для оценки точности триангуляции

$$\frac{m_s^2}{S^2} = \frac{m_b^2}{s^2} + \frac{m_p^2}{\rho^2} \cdot \frac{2}{3} \sum_1^N (\operatorname{ctg}^2 A_i + \operatorname{ctg}^2 B_i + \operatorname{ctg} A_i \operatorname{ctg} B_i), \quad (2)$$

углы A, B и C равными 60° , получаем

$$\frac{m_s^2}{S^2} = \frac{m_b^2}{b^2} + \frac{2}{3} \left(\frac{m_\beta^2}{\rho} \right) N, \quad (3)$$

где $\frac{m_s}{S}$ — относительная средняя квадратическая ошибка длины



Модель четырехразрядной сети триангуляции.

связующей стороны; m_β — средняя квадратическая ошибка измеренного угла; N — число треугольников от исходной до искомой стороны; $\frac{m_b}{b}$ — относительная средняя квадратическая ошибка исходной стороны.

Дальнейшие выкладки ограничим следующими соображениями.

1. Приближенно считаем, что

$$\frac{m_s}{S} \approx \frac{m_i}{S}. \quad (4)$$

2. Учтем, что стороны исходного (предыдущего) разряда триангуляции определены в k раз точнее, чем последующего. В этом случае

$$\frac{m_b}{b} = \frac{m_i}{kS}. \quad (5)$$

3. Для исследуемой модели сети четырехразрядной триангуляции (см. рисунок) вследствие симметричности расположения

пунктов поэтапно сгущаемых сетей число треугольников N от стороны высшего разряда построения к низшему равно единице.

4. Стороны соответствующего разряда сети приняты одинаковыми, их длины для двухстадийных построений равны 3 и 1,7 км, для трехстадийных — 3; 1,7 и 1 км, для четырехстадийных — 3; 1,7; 1 и 0,6 км.

С учетом (4) и (5) соотношение (3) примет вид

$$\frac{2}{3} \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} = \frac{m_i^2}{S^2} \left(1 - \frac{1}{k^2} \right), \quad (6)$$

из которого легко получить

$$m_{\beta} = 1,22 \frac{m_i \rho''}{S} \frac{\sqrt{k^2 - 1}}{k}. \quad (7)$$

По (7) в табл. 2 рассчитаны средние квадратические ошибки измерения угла в различных разрядах триангуляционных построений при заданных значениях k .

Таблица 2

Расчет средних квадратических ошибок измерения угла
многоразрядных геодезических построений

k	$m_{\beta}, \dots$								
	n=2		n=3			n=4			
	i=1	i=2	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3	i=4
$\sqrt{2}$	3,5	8,6	2,3	5,6	13,4	1,6	3,9	9,4	21,7
2	3,3	11,5	1,6	5,6	19,0	0,8	2,8	9,4	31,7
3	2,5	13,2	0,8	4,3	22,2	0,2	1,4	7,3	37,0
4	1,9	14,0	0,5	3,4	23,7	0,1	0,9	5,8	39,5
5	1,7	14,2	0,3	2,9	24,2	0,07	0,3	4,9	40,3

Выполненные расчеты средних квадратических ошибок измерения угла в различных разрядах триангуляционных построений поставим в зависимость от стоимости S измерения углов. Поскольку в действующих нормативных документах измерителем при угловых измерениях является пункт, определим стоимость независимо от числа наблюдаемых направлений, предполагая, что число их на каждом из рассматриваемых пунктов одинаково. Значения стоимостей отождествляем с расценками на измерение углов на одном пункте триангуляции разных классов и разрядов. Для определения указанных расценок из [2] выбирали нормы времени, соответствующие третьей категории трудности производимых работ, а расчетные ставки работников определяли из таблиц, приведенных в [1].

Соотнося вычисленные расценки для одного пункта триангуляции I—IV классов и первого-второго разрядов со средними квадратическими ошибками измерения угла в триангуляции тех

же классов и разрядов, регламентируемых инструкциями [3, 4], получаем взаимосвязь точности и стоимости:

$m_{\beta}, \dots, "C$, руб.

0,7	82,2
1,0	49,8
1,5	25,0
2,0	13,0
5,0	3,3
10,0	2,5

Таким образом, из анализа этих зависимостей следует, что между m_{β} и C существует обратная связь, которая достаточно точно аппроксимируется уравнением гиперболы третьего порядка. Определяя параметры этого уравнения по способу наименьших квадратов, получаем эмпирическую формулу

$$C = 2,36 - \frac{11,22}{m_{\beta}} + \frac{83,57}{m_{\beta}^2} - \frac{25,53}{m_{\beta}^3}. \quad (8)$$

Расчет стоимостных показателей многоразрядных геодезических построений по (8) при различных значениях k и n приведен в табл. 3. Отметим, однако, что для малых значений аргумента

Таблица 3

Расчет стоимости многоразрядных геодезических построений

k	C, руб.								
	n=2		n=3			n=4			
	l=1	l=2	l=1	l=2	l=3	l=1	l=2	l=3	l=4
$\sqrt{2}$	5,4	2,2	11,2	2,9	2,0	21,8	4,5	2,1	2,0
2	5,9	2,0	21,8	2,9	2,0	69,0	7,8	2,1	2,1
3	9,6	2,0	69,1	4,0	2,0	161,0	27,7	2,3	2,1
4	15,9	2,0	113,7	5,6	2,0	174,1	58,0	2,8	2,1
5	19,5	2,0	146,1	7,4	2,0	181,5	146,1	3,3	2,1

m_{β} в интервале $0,1 \dots 0,5''$ применение аппроксимационного полинома (8) приводит к неудовлетворительным результатам. Поэтому для указанного интервала выполнено последовательное экстраполирование назад с использованием интерполяционной формулы Ньютона-Грегори [6].

Выполненные расчеты показывают, что в зависимости от принятого коэффициента обеспечения точности трехступенчатая схема геодезического обоснования требует в 2—7 раз больше затрат, чем двухстадийное построение сети, а четырехразрядное сгущение сети удорожает работы в 2—3 раза по сравнению с трехстадийными и на порядок по сравнению с двухстадийными схемами обоснования.

При переходе от одного из рассматриваемых в табл. 3 значений к другому стоимость измерений может возрасти примерно в 1,2—2,8 раза и при значениях k , равных 4 и 5, затраты на производство измерений достигают значительных величин.

В конечных разрядах геодезического обоснования стоимостные показатели значительно уменьшаются и практически стабилизируются, что объясняется потерей точности этих построений.

Таким образом, при выборе коэффициента обеспечения точности и решении вопроса о количестве стадий геодезического обоснования, а также для оценки технической целесообразности много-разрядных геодезических построений следует руководствоваться и экономическими критериями.

1. Бажанов К. В., Беспалов Н. А., Брыкин П. А. и др. Экономика топографо-геодезического производства. — М.: Недра, 1982. — 160 с. 2. Единые нормы выработки (времени) на геодезические и топографические работы: Полевые работы. — М.: Недра, 1982. — 231 с. 3. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. — М.: Недра, 1966. — 341 с. 4. Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства (СН 212—73). — М.: Стройиздат, 1974. — 152 с. 5. Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. — М.: Недра, 1981. — 438 с. 6. Фильчаков П. Ф. Численные и графические методы прикладной математики. — К.: Наук. думка, 1970. — 799 с.