

где $\Delta n_i = n_i - n_0$.

С относительной погрешностью (12) имеем на основании (7)

$$n_i - n_0 = (n_0 - 1)(D + D_1 z_i) z_i, \quad (7)$$

$$D = \frac{P_1}{P_0} - \frac{t_1}{T_0}, \quad D_1 = \frac{P_2}{P_0} - \frac{t_2}{T_0}. \quad (15)$$

Учитывая (15) и сохраняя прежнее относительную точность, в оценке влияния каждой из ошибок dT_0 , dt_1 , dt_2 на аппликату z_k формулу (14) запишем окончательно так:

$$dz_k^i = - \frac{(1 + z_i^2)(n_0 - 1) z_i}{z_i n_0} \left[(D + D_1 z_i) \frac{dt_2}{T_0} + \right. \\ \left. + (dt_1 + z_i dt_2) \frac{1}{T_0} - (dp_1 + z_i dp_2) \frac{1}{P_0} \right]. \quad (16)$$

Выполняя суммирование (8) после подстановки в нее (16), принимаем с пренебрегаемой погрешностью $z_i' = \text{ctg } \xi$, где ξ — среднее значение зенитного расстояния вдоль световой кривой, и пользуемся выражения

$$\Delta z \approx \Delta x \text{ ctg } \xi, \quad z_i = i \Delta z, \\ \sum_{i=1}^{i=k-1} i = k(k-1)/2, \quad \sum_{i=1}^{i=k-1} i^2 = k(k-1)(2k-1)/6, \\ \sum_{i=1}^{i=k-1} z_i^2 \approx \Delta z^2 \sum_{i=1}^{i=k-1} i^2, \quad \sum_{i=1}^{i=k-1} z_i \approx \Delta z \sum_{i=1}^{i=k-1} i.$$

После некоторых преобразований формула (16) имеет вид

$$dz_k = - \frac{(n_0 - 1)(k-1) x_k^2}{2n_0 k \sin^2 \xi} \left[(D + D_1) \frac{2k-1}{3k} \frac{dT_0}{T_0} + \right. \\ \left. + \frac{dt_1}{T_0} - \frac{dp_1}{P_0} + \frac{2k-1}{3k} z_k \left(\frac{dT_2}{T_0} - \frac{dp_2}{P_0} \right) \right]. \quad (17)$$

В знаменателе выражения перед квадратной скобкой можно принять $n_0 = 1$.

Чтобы получить значения dp_1 , dp_2 дифференцируем (3):

$$dp_1 = \frac{P_0}{T_0} dT_0, \quad dp_2 = - \frac{2P_2}{T_0} dT_0 - \frac{P_1}{T_0} dt_1. \quad (18)$$

Принимая во внимание (12), (15), (18) и пренебрегая членами, содержащими малый коэффициент P_2 , представим (17) следующей группой формул:

$$dz_k = dz_k^{T_0} + dz_k^{t_1} + dz_k^{t_2}, \\ dz_k^{T_0} = - \frac{(n_0 - 1)(k-1) x_k^2}{2kT_0 \sin^2 \xi} \left[\frac{2P_1}{P_0} - \frac{t_1}{T_0} - \frac{(2k-1) z_k t_2}{3kT_0} \right] dT_0,$$

$$dz_k^{t_1} = - \frac{(n_0 - 1)(k-1) x_k^2}{2kT_0 \sin^2 \xi} dt_1,$$

$$dz_k^{t_2} = - \frac{(n_0 - 1)(2k-1)(k-1) x_k^2 z_k}{3k^2 T_0 \sin^2 \xi} dt_2.$$

Аналогичным образом получаем формулы для оценки влияния на аппликату z_k ошибок измеренного давления P_0 и зенитного расстояния ξ :

$$dz_k^{P_0} = \frac{(n_0 - 1)(k-1) x_k^2}{2kP_0 \sin^2 \xi} \left[\frac{2P_1}{P_0} - \frac{t_1}{T_0} - \frac{(2k-1) z_k t_2}{3kT_0} \right] dP_0,$$

$$dz_k^{\xi} = - \frac{x_k}{\sin^2 \xi} d\xi.$$

Величины dT_0 , dt_1 , dt_2 являются функциями случайных ошибок измерения температуры T_i на уровнях h_i . Средние квадратические значения этих величин как функций средней квадратической ошибки от измерения температуры получим по известным правилам оценки точности при решении по способу наименьших квадратов системы уравнений вида (4), определяющих T_0 , t_1 и t_2 .

При априорной оценке значения σ следует, наряду с инструментальной составляющей, учесть ошибку репрезентативности результатов измерений.

1. Хижак Л. С., Постычук Н. Д., Фисс М. М. Определение уравнения световой кривой по результатам геодезических и метеорологических измерений. Годозеня, картография и аэрофотоъемка, 1985, № 43, с. 110—113. 2. Хижак Л. С., Дидух И. И., Ясика Н. Б. Об одном методе нахождения уравнения световой кривой: Тез докл. VI Всесоюз. симп. по распространению лазерного излучения в атмосфере. — Томск, 1981, к. 3, с. 114—117.

Статья поступила в редакцию 04.05.85

УДК 528.658

С. Н. ХОДОРОВ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МНОГОРАЗРАДНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ НИТОЖНОСТИ 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
многообразных геодезических построений

k	m _i , см							
	n=2		n=3		n=4			
	l=1	l=2	l=1	l=2	l=1	l=2	l=3	l=4
√2	5,8	8,2	3,8	5,3	7,5	2,6	3,7	5,2
2	4,5	8,9	2,2	4,4	8,7	1,1	2,2	4,3
3	3,2	9,5	1,0	3,1	9,4	0,3	1,0	3,1
4	2,4	9,7	0,6	2,4	9,7	0,15	0,6	2,4
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 многообразных 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 многообразной триангуляции.

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

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

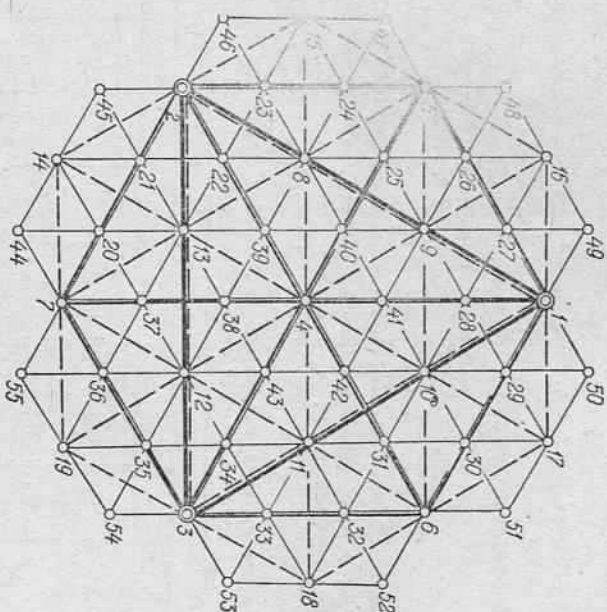
где m_0 — заданная точность построения геодезического обоснования; m_i — средняя квадратическая ошибка в положении пункта соответствующего разряда; n — количество разрядов обоснования; i — порядковый номер разряда. При этом для масштаба съемки 1:500 $m_0=10$ см. Результаты расчетов по (1) приведены в табл. 1. Полагая далее в известной формуле для оценки точности триангуляции

$$\frac{m_s^2}{S^2} = \frac{m_b^2}{2} + \frac{m_\beta^2}{3} \cdot \frac{2}{N} \sum (\text{ctg}^2 A_i + \text{ctg}^2 B_i + \text{ctg} A_i \text{ctg} B_i), \quad (2)$$

где 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 четырехрядной сети триангуляции.

связующей стороны; m_b — 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. Учет, 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 четырехрядной триангуляции (см. рисунок) вследствие симметричности расположения

пунктов поэтапно сгущаемых сетей число треугольников N от стороны вышешо 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

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

из которого легко получить

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

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
многообразных геодезических построений

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

Выполненные расчеты средних квадратических ошибок измерения угла в различных разрядах триангуляционных построений поставим в зависимость от стоимости C измерения углов. Поскольку в действующих нормативных документах измерителем при угловых измерениях является пункт, определим стоимость независимого от числа наблюдаемых направлений, предположив, 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] выбрали нормы времени, соответствующие третьей категории трудности производимых работ, а расчетные ставки работников определили 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

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

$m_p, \dots''$	$C, \text{руб.}$
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_p и C существует обратная связь, которая достаточно точно аппроксимируется уравнением гиперболы третьего порядка. Определив параметры этого уравнения по способу наименьших квадратов, получаем эмпирическую формулу

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

Расчет стоимостных показателей многообразных 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 многообразных геодезических построений

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

m_p в интервале 0,1...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 четырехстадийное 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., Бегалов 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: Подсчета работы. — М.: Недра, 1982. — 231 с. 3. Инструкция о построении 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. Девчук Г. П., Новик В. Е., Кондратов В. Г. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. — М.: Недра, 1981. — 438 с. 6. Фидельяков П. Ф. Численные и графические методы прикладной математики. — К.: Наук. думка, 1970. — 799 с.

Статья поступила в редакцию 09. 04. 85

УДК 528.32+666.94

Т. Г. ШЕВЧЕНКО, Н. И. КРАВЦОВ, С. Г. ХРОПОТ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОЛЫХ КОРПУСОВ

Контроль прямолинейности технологических и рабочих осей агрегатов и машин требует особого внимания в инженерно-геодезическом обеспечении монтажа или ремонта оборудования. Важное значение он приобретает во время ремонта крупногабаритных агрегатов, поскольку узлы и детали агрегатов подвержены действию больших нагрузок и сильно изнашиваются при эксплуатации, утрачивая первоначальные проектные размеры и форму. К таким узлам относятся валы турбин, помпальных агрегатов и агрегатов паровых машин, корпуса холодильников, обжимовых и специальных печей. При этом закрепление опорных линий и измерения непосредственно осей и валов представляет собой менее трудоемкую и сложную операцию, чем контроль непрямолинейности корпусов, для которого необходимо определить размеры и форму деталей. Для определения формы и размеров валов имеют достаточное количество соответствующих устройств и приборов [1, 5]. Однако для измерений корпусов число их весьма ограничено [2, 4]. Следует отметить, что методы измерений непрямолинейности для

валов не всегда пригодны для измерений непрямолинейности корпусов. В частности, закрепление опорных линий вне корпуса приводит к значительному снижению точности контроля.

Опорную линию закрепляют внутри корпуса центрами тяжести двух контурных кривых, образованных внутренней поверхностью корпуса в его поперечных сечениях. Точность контроля во многом зависит от точности отыскания названных центров. По существ-

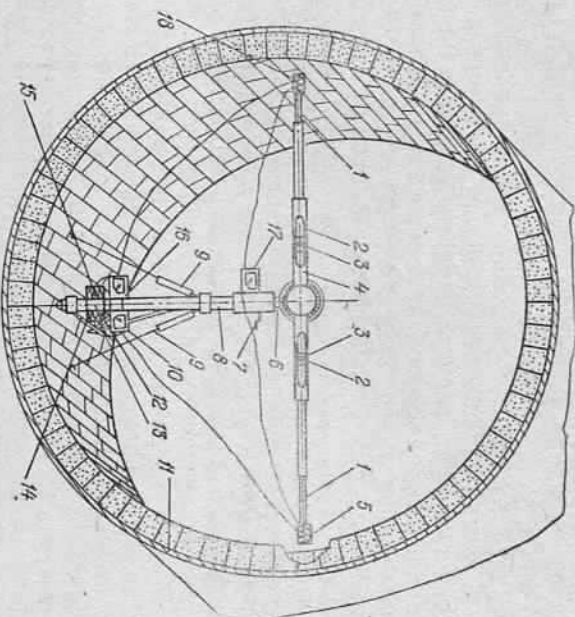


Схема устройства для контроля формы крупногабаритных корпусов.

вующей методике центры находят путем непосредственного контакта измерительного органа с металлом корпуса [3, 4]. Однако корпуса эксплуатируемых печальных и обжимовых агрегатов, мельниц, холодильников и т. д., как правило, футеруются внутри огнеупорным материалом, поэтому в этих случаях удаляют часть футеровки в четырех диаметрально противоположных местах и устанавливают устройство для нахождения центра сечения так, чтобы нижний конец его стойки и концы измерительного органа касались металла корпуса. Центр тяжести сечения находят по четырем его точкам, что не обеспечивает требуемой точности. Удалять же футеровку в сечении полностью дорого и отнимает много времени. При контроле прямолинейности корпусов средних размеров это составляет около суток.

Описанные недостатки можно устранить с помощью предлагаемой методики и средств для реализации бесконтактного определения центра тяжести сечения. Для этого в конструкцию известного устройства для нахождения центра тяжести сечения введены индуктивные датчики (см. рисунок).