

Первая соответствует западному концу разлома ($|\delta(\Delta g)/\Delta l| = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2/\text{км}$), вторая — восточному концу ($|\delta(\Delta g)/\Delta l| = 0,6 \cdot 10^{-5} \dots 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2/\text{км}$) и третья охватывает значение горизонтальных градиентов ($|\delta(\Delta g)/\Delta l| = 0,3 \cdot 10^{-5} \dots 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2/\text{км}$). Членные значения горизонтальных градиентов сравнивались с пружениями, сброшеными силами землетрясениями в соответствующих зонах Пинского разлома. На качественном уровне здесь обнаруживается тесная корреляция *.

Интересно отметить, что количественные оценки корреляции выполненные для других регионов [1], дают большое значение коэффициентов корреляции между так $|\delta(\Delta g)/\Delta l|$ и землетрясениями высоких энергетических классов $k = 0,6 \dots 0,8$. Как справедливо отмечает автор работы [1], вряд ли можно экстраполировать полученные оценки на другие регионы, но анализ связи нарушенного изостатического равновесия с сейсмичностью в разных регионах СССР показывает, что существует явно выраженная тенденция увеличения сейсмической опасности в областях, где нарушенное равновесие земной коры (литосфера), и особенно там, где претерпевшее изменение изостатического состояния в горизонтальном направлении. Это подтверждается и результатами, полученными в данной работе. Более того, для участков с повышенными значениями горизонтальных градиентов изостатических аномалий в зоне Пинского разлома характерны большие относительные частоты Q появления землетрясений большой интенсивности $i = 8-6$ баллов. Так, в первой области повышенных горизонтальных градиентов $|\delta(\Delta g)/\Delta l|$ относительная частота появления землетрясений с интенсивностью $I = 7-8$ баллов составляет $Q = 0,67$, во второй — $Q = 0,8$ для землетрясений с $i = 7-8$ баллов, и в третьей $Q = 0,55$ для землетрясений с $i = 8-7$ баллов. Относительные частоты появления землетрясений низкой интенсивности существенно меньше $Q = 0,05 \dots 0,34$. Это еще одно подтверждение повышенной сейсмической опасности выделенных областей.

Для западного конца Пинского разлома по изолированным изостатическим аномалиям были выполнены оценки глубин затапливания нескомпенсированных масс, вызывающих аномалии большой интенсивности $\sim 50 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$, по методу, описанному в [4]. В восточной части разлома эти массы располагаются на глубине 24 км, приурочены к положению границы M (по данным ГСЗ), но коррелируют с глубинами очагов землетрясений этих зон не обнаружено: глубины очагов 8-7 балльных землетрясений I зоны расположились в диапазоне 16...28 км, а 7-8 балльных землетрясений VII зоны — в диапазоне 5...15 км. Очевидно, этот вопрос требует дополнительного и более тщательного изучения.

В заключение следует отметить, что выполненный анализ нарушений изостатического равновесия литосферы в зоне Пинин-

* Коэффициент корреляции между указанными величинами не вычисляли из-за отсутствия достаточного количества данных для получения его надежного значения.

ского разлома и его сейсмичности показал, что наиболее напряженное состояние недр в зоне глубинного Пинского разлома соответствует местам повышенных значений горизонтальных гравитационных аномалий силы тяжести $|\delta(\Delta g)/\Delta l|$; эпикентры землетрясений большой интенсивности $I = 8-7$ баллов и относительной частоты их появления соответствуют также областям с повышенным $|\delta(\Delta g)/\Delta l|$.

Все это свидетельствует о том, что данные о нарушениях изостатического равновесия являются надежным дополнительным критерием для целей сейсмического районирования.

Список литературы: 1. Артениев М. Е. Изостазия территории СССР. — М.: Наука, 1975. 2. Вялов О. С. Глубинные разломы и тектоника Карпат. — Геол. обн. Львов, геол. об-ва, 1965, № 9. 3. Гофман И. Д. Неотектоника Карпат. — К.: АН УССР, 1964. 4. Ессеева Э. М., Глазолов М. Л. Об изостатически неискомпенсированных массах литосфера Карпатского региона. — Тектоника, картография и аэрофотосъемка, 1983, вып. 38. 5. Круглов О. С. О природе Мармороских утесов Советских Карпат. — Геол. сб. Львов. геол. об-ва, 1965, № 9. 6. Муратов М. В. Тектоника и основные этапы развития Восточных Карпат. — Бюллетень Моск. об-ва писателей природы, Сер. геол., 1947, т. 22 (2). 7. Новий каталог стихий землетрясений на территории СССР. — М.: Наука, 1977. 8. Панасюк В. В., Сафарук М. А., Дацючик А. П. Распределение напряженного поля трещин в пластинках и оболочках. — К.: Наук. думка, 1976. 9. Прағен-гольц К. Н. Геологическое строение СССР. — М.: Госгеопромиздат, 1958. 10. Тектоника. Ю. В. Размеры очагов корового землетрясения и сейсмический момент. — В кн.: Исследования по физике землетрясений. — М.: Наука, 1976. 11. Ризниченко Ю. В. Протяженный очаг и сейсмическое течение горных масс. — В кн.: Исследование по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. 12. Солдатов В. В. Структура земной коры Центральной и Восточной Европы. — К.: Наук. думка, 1980. 13. Prochazkova D., Kurnick V. Atlas of Isostatic maps Central and Eastern Europe KAPG. — Working Group, 43, 1978.

Статья поступила в редакцию 12.04.84

УДК 528.236

Б. Г. КИРИЛЛОВ

О ПОГРЕШНОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ МАСШТАБОВ

В последнее время значительное развитие получили прямые методы преобразования прямоугольных координат в пространстве [2, 3], параметры которых находят в два этапа: вычисление элементов некоторой квазиротогональной матрицы; ортонормирование этой матрицы.

До вычисления элементов квазиротогональной матрицы определают и учитывают масштаб, поэтому уменьшение квазиротационности зависит и от его точности. Согласно теории ошибок [1], наименьшие погрешности имеют средние (средневесовые) значения величин. Поэтому цель данной статьи — исследовать применительно к космическим сетям точность различных формул определения средних (средневесовых)

значений масштаба и выработать рекомендации по их использованию.

Задача определения масштаба в космических сетях уже рассматривалась в печати [4, 5], но вопрос о среднем значении масштаба в космических сетях здесь затрагивается впервые.

Поскольку масштаб и средняя квадратическая ошибка обозначаются в геодезии одной и той же буквой m , будем помечать масштабом, как принято в математической картографии, греческой буквой μ . Для удобства будем также обозначать среднее значение



Прямоилинейный отрезок для определения средних значений линейных масштабов.

масштаба, определенное по i -й формуле, μ_i , среднюю квадратическую погрешность его M_μ , среднюю квадратическую ошибку масштаба μ_{ij} любой линии — m_μ .

Для определения среднего значения масштаба предложена формула [3]

$$\mu_1 = [\mu_{ij}] / N, \quad (1)$$

где N — число линий в сети, содержащей n пунктов, причем $N = n(n-1)/2$.

Пусть дан прямолинейный отрезок (см. рисунок), содержащий пункты P_i и P_j , на котором произвольно выбрана точка P_k . Тогда

$$\mu_{\text{ср}} = S'_{ij} / S_{ij} = (S'_{ik} + S'_{kj}) / (S_{ik} + S_{kj}),$$

где S' и S — длины линий в новой и старой системах соответственно. Применяя эту формулу к n пунктам, не лежащим на одной прямой, получаем

$$\mu_2 = \frac{|S'_{ij}|}{|S_{ij}|} = \frac{\sum \mu_{ij} S_{ij}}{|S_{ij}|}. \quad (2)$$

Среднее весовое значение масштаба предложено находить по формуле [7]

$$\mu_3 = [\mu_{ij} S_{ij}^2] / [S_{ij}^2], \quad (3)$$

и, наконец, среднее весовое значение масштаба можно определить по формуле

$$\mu_4 = [\mu_{ij} P_{ij}] / [P_{ij}], \quad (4)$$

где $P = 1/m_\mu^2$ — вес масштаба. Если принять $P_{ij} = S_{ij}$ или $P_{ij} = S'_{ij}$, то получим соответственно (2) и (3).

Пользуясь известной формулой

$$m_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial X_i}\right)^2 m_{X_i}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial X_j}\right)^2 m_{X_j}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Y_i}\right)^2 m_{Y_i}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Y_j}\right)^2 m_{Y_j}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Z_i}\right)^2 m_{Z_i}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Z_j}\right)^2 m_{Z_j}^2}, \quad (5)$$

применительно к функции

$$F = S_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2}, \quad (6)$$

найдем зависимость между средней квадратической ошибкой расстояния m_S и средними квадратическими ошибками координат пунктов (m_X, m_Y, m_Z):

$$m_S = \sqrt{\cos^2 \alpha (m_{X_i}^2 + m_{X_j}^2) + \cos^2 \beta (m_{Y_i}^2 + m_{Y_j}^2) + \cos^2 \gamma (m_{Z_i}^2 + m_{Z_j}^2)} = \sqrt{\cos^2 \alpha \cdot m_{\Delta X_{ij}}^2 + \cos^2 \beta \cdot m_{\Delta Y_{ij}}^2 + \cos^2 \gamma \cdot m_{\Delta Z_{ij}}^2}, \quad (7)$$

в которой α, β, γ — углы прямой S_{ij} и осей координат.

Зная средние квадратические ошибки линий, определим среднюю квадратическую ошибку масштаба. Для функции вида $\mu = S'/S$ можно записать [1]

$$(m_\mu / \mu_{ij})^2 = (m_{S'} / S')^2 + (m_S / S)^2. \quad (8)$$

После преобразования получаем

$$m_\mu = \frac{\sqrt{m_{S'}^2 + \mu_{ij}^2 m_S^2}}{S_{ij}^2}. \quad (9)$$

Так как в векторных ходах, а также сетях космической триангуляции и трилатерации масштаб незначительно ($10^{-5} \dots 10^{-6}$) отличается от единицы, а погрешности m_S меньше 1 км, запишем (9) в виде

$$m_\mu = \sqrt{(m_{S'}^2 + m_S^2) / S_{ij}^2}. \quad (10)$$

Следовательно, квадрат средней квадратической ошибки масштаба прямо пропорционален сумме квадратов средних квадратических ошибок линий в обеих системах и обратно пропорционален квадрату расстояния.

Координаты пунктов и их погрешности взяты для последующих вычислений из [8], где опубликованы результаты уравнения триангуляции и трилатерации по способу наименьших квадратов в пространственных декартовых координатах.

На основании (9) получим выражения для средних квадратических ошибок средних масштабов

$$M_{\mu_1} = \frac{1}{n} \sqrt{[m_\mu^2]} = \frac{1}{n} \sqrt{\left[\frac{m_{S'}^2 + m_S^2}{S_{ij}^2} \right]}, \quad (11)$$

$$M_{\mu_2} = \frac{1}{[S_{ij}]} \sqrt{[S_{ij}^2 m_\mu^2]} = \frac{1}{[S_{ij}]} \sqrt{[m_{S'}^2 + \mu_{ij}^2 m_S^2]}; \quad (12)$$

$$M_{\mu_3} = \frac{1}{[S_{ij}^2]} \sqrt{[S_{ij}^2 (m_S^2 + \mu_{ij}^2 m_S^2)]}; \quad (13)$$

$$M_{\mu_4} = \frac{1}{[P_{ij}]} \sqrt{\left[\frac{S_{ij}^2}{m_S^2 + \mu_{ij}^2 m_S^2} \right]} = \frac{1}{\sqrt{[P_{ij}]}}. \quad (14)$$

Легко видеть, что

$$M_{\mu_4}/M_{\mu_3} = M_{\mu_4} \sqrt{[P_{ij}]}.$$

Подставляя в (11) — (14) некоррелированные погрешности линейных масштабов, можем априори определить ошибки преобразования в (11) — (14).

Результаты вычислений средних квадратических ошибок по (11) — (14)

Число N элементов в сумме	Средние квадратические ошибки $M \cdot 10^{-5}$ и номера используемых формул				
	M_{μ_1} (11)	M_{μ_2} (12)	M_{μ_3} (13)	M_{μ_4} (14)	$M_{\mu_1} = M_{\mu_4}$ (15)
3	0,4629	0,6646	0,8347	0,2907	1,5925
5	0,4651	0,5030	0,6741	0,1922	2,4204
7	0,3480	0,4120	0,6054	0,1660	2,0957
9	0,3024	0,3668	0,5692	0,1593	1,8987
11	0,3170	0,3351	0,4742	0,1515	2,0925
13	0,2711	0,2813	0,3972	0,1245	2,1768
15	0,2547	0,2189	0,2006	0,0704	3,6175
17	0,2273	0,1921	0,1768	0,0635	3,5779
19	0,2038	0,1559	0,1308	0,0492	4,1451
21	0,1846	0,1381	0,1181	0,0436	4,2374

зованных координат, вызываемые ошибками средних значений масштаба.

Часть результатов вычислений по сравнению средних квадратических ошибок средних значений масштаба, определенных по различным формулам, приведена в таблице. Исходные данные взяты из [8].

На примере космических геодезических сетей экспериментально установлено, что точность среднего масштаба μ_1 (при $N \geq 15$) ниже точности других средних (средневесовых) масштабов, а погрешности масштабов μ_2 и μ_3 незначительно ($10 \dots 15\%$) отличаются друг от друга.

Погрешности преобразованных прямоугольных координат (в космической геодезии), вызываемые только ошибками масштабов, могут достигать нескольких десятков метров. Для уменьшения их следует вычислить средние, используя максимальное число исходных масштабов.

Список литературы: 1. Болычев В. Д., Гайдуков П. А. Теория математической обработки геодезических измерений. — М.: Недра, 1977. 2. Буткевич А. В., Кириллов В. Г. Об определении параметров преобразования пространственных прямоугольных координат. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1982, № 3. 3. Журук И. Г. Об одном алгоритме преобразования координат в задачах фотограмметрии. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1980, № 5.

4. Кириллов В. Г. Характер линейных искажений при преобразованиях координат в трехмерном пространстве. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 30. 5. Кириллов В. И. Определение масштаба сети космической триангуляции по фотографическим и лазерным наблюдениям ИСЗ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1978. 6. Машимов М. М. Космическая геодезия и военная техника. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1980, № 1. 7. Фотогрангуляция с применением электронной цифровой вычислительной машины. — М.: Недра, 1975.

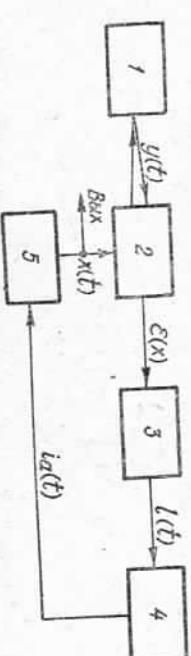
Статья поступила в редакцию 08.12.83

УДК 528:62-52

Ю. В. КОЛОДЕЖ, Ю. Л. ФАИВУЖИНСКИЙ

СЛЕДЯЩАЯ УГЛОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА (ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ)

В настоящее время актуальной проблемой является разработка инженерно-геодезических систем (ИГИС) для измерения геодезических координат стохастически перемещающихся объектов. Поэтому геодезические координаты объекта будут меняться случайным образом, ИГИС необходимо проектировать для ведения непрерывных измерений в реальном масштабе времени и она должна



Функциональная схема ИГИС для измерения углового положения объекта:

1 — мышь, расположенная на объекте, на которую падает и отражается излучаемый системой лазерный лучок; 2 — измерительное устройство, обрабатывающее входной сигнал $y(t)$ об углом положения объекта; 3 — преобразователь информации об угловом положении (разностный сигнал $\epsilon(t) = y(t) - x(t)$) об угловом положении объекта; 4 — преобразователь информации об угловом положении объекта в электрический сигнал $e(t)$; 4 — усилитель, выходной сигнал $i(t)$ которого — ток управления электродвигателем привода; 5 — электропривод с реулектром и вращающимся им магнитом системы, с которой снимается информация о значении угла поворота (выходной сигнал $x(t)$).

на быть оптимальной для заданных условий измерений. При этом критерием оптимальности следует выбрать критерий минимума средней квадратической погрешности, который широко применяется в геодезии как универсальный [1].

Покажем порядок оптимизации однокоординатной системы. В качестве примера возьмем ИГИС, измеряющую угловое положение объекта посредством определения отклонения отраженного от него лазерного пучка, поступающего на объект от системы. Функциональная схема такой ИГИС показана на рисунке.