

щинам в регионе заполняли их, а поверхность вздутия, наоборот, оседала в регионе. Объемы и длина сопоставимы с океанскими желобами.

Наверное мы могли бы к таким желобам отнести и марсианские каналы, которые из-за отсутствия воды, незначительной атмосферы и мирового холода слабо подвержены разрушениям и сохраняются в первоначальном виде.

Армянская АЭС

Поступила 16.X.1989.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авсюк Ю. Н. Движение в ядре Земли и их связь с наблюдаемыми на поверхности явлениями. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени докт. физ. мат. наук М. МГУ, 1988, 24 с.
2. Атлас землетрясений в СССР 1911—1957 гг., М., 1962.
3. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Морозов В. И., Курс общей астрономии. М., 1977.
4. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: 1978, 191 с.
5. Казаров И. Н. К закономерности смещения центра масс внутреннего ядра Земли от геометрического центра в сторону Солнца. Изв. АН АрмССР, Наука в Земле, № 5, 1989.
6. Кондорская Н. В., Горбунова И. В. Катастрофическое землетрясение в Армении 1988 г. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 5, М.: Наука, 1989.
7. Шебалин Н. В. О Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 года. Наука и жизнь № 2, М.: 1989.

Известия АН Армении, Науки о Земле, 1992, XLV, № 2, 73—78.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 528.48

А. Г. АФРИКЯН

### К ВОПРОСУ ОБ УРАВНИВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СЕТИ

Недооценка значения геодезического обеспечения строительства всегда приводит к нежелательным последствиям, критическую переоценку и переосмысление которых побудили разрушительные последствия землетрясения в Армении.

При возведении современных инженерных сооружений к точности определения координат пунктов опорных геодезических сетей предъявляются существенные требования. Поэтому проектирование и уравнивание геодезических сетей должны вестись с применением тех методов расчета точности и уравнивания, которые гибки по отношению к изменениям исходных данных, учитывают ошибки исходных данных при ступенчатом построении сети.

Рассмотрим методы расчета точности и уравнивания пространственной сети одного ответственного сооружения. На исходном монтажном горизонте предусмотрена сеть трилатерации (рис. 1) с началом координат в точке 1,0 и начальным направлением 1,0—1,7, т. е.

$$\delta x_0 - \delta y_0 = \delta y_{1,7}$$

Обратные веса координат пунктов 1,0—1,7 определяются методом наименьших квадратов. Предполагается измерение линий фазовыми дальномерами, поэтому стороны сети следует считать равно-

точными, вес стороны принимается равным 1. Для удобства матричного расчета принимается условная нумерация пунктов. На схеме (рис. 1) показаны направления ходов.

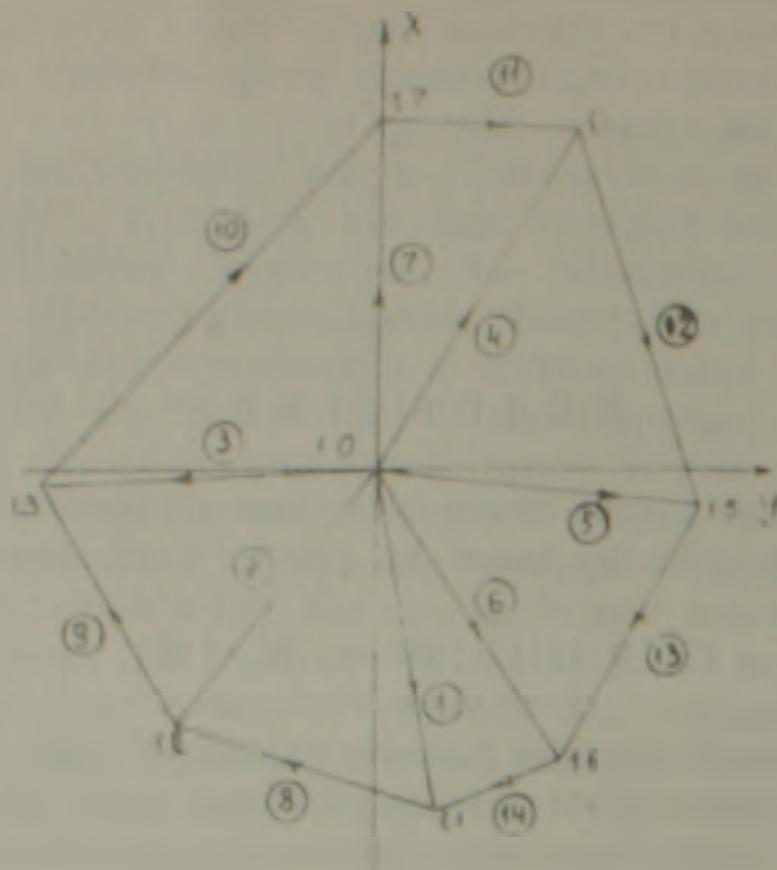


Рис. 1. Сеть трилатерации на исходном монтажном горизонте.

Уравнивание сети трилатерации выполняется параметрическим способом. Приняв за ошибку единицы веса  $\sigma_0$  (стандарт) измерения стороны  $\sigma = 0,5$  мм, напишем ковариационную матрицу искомым координат пунктов на исходном горизонте при условии  $\delta x_{1,0} = \delta y_{1,0} = \delta y_{17}$ .

$$K_0 = \sigma^2 \cdot \bar{Q}_0 = (0,5)^2 X$$

$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_3$	$y_3$	$x_4$	$y_4$	$x_5$
1.094	0.604	-0.098	0.174	-0.110	0.062	0.210	-0.079	0.504
	3.750	-1.522	2.521	-1.879	0.779	0.725	-0.197	1.806
		1.828	-1.160	1.628	-0.638	-0.248	0.016	-0.664
			2.505	-1.655	0.668	0.453	-0.098	1.149
				2.562	-0.630	-0.264	-0.053	-0.770
					0.915	0.173	-0.087	0.394
						1.157	-0.096	1.056
							0.888	-0.368
								2.318

$y_5$	$x_6$	$y_6$	$x_7$
0.185	0.385	0.759	0.022
0.700	1.406	2.807	-0.245
-0.282	-0.532	-1.088	0.296
0.457	0.903	1.813	-0.257
-0.358	-0.637	-1.331	0.604
0.134	0.295	0.570	0.106
-0.011	0.556	0.692	0.105
0.023	-0.193	-0.212	-0.248
0.417	1.348	1.702	0.065
0.008	0.501	0.649	-0.079
	1.526	1.106	-0.115
		3.03	-0.134
			0.872

где  $\bar{Q}_0$  — обратная весовая матрица.

На высший монтажный горизонт проектируются пункты 1, 2, 3, 4, 5. Ковариационная матрица  $\bar{K}$  проекций 1', 2', 3', 4' и 5' этих пунктов равна



вании сети на высшем монтажном горизонте [1] возникает следующая система параметрических уравнений:

$$\begin{matrix} A\Delta_1 + B\Delta_2 + L = l' \\ E\Delta_1 = \Delta_1 \end{matrix} \quad (3)$$

$$\begin{matrix} \Lambda \\ x_1' & y_1' & x_2' & y_2' & x_3' & y_3' & x_4' & y_4' & x_5' & y_5' \end{matrix} \begin{bmatrix} -0.308 & 0.931 & 0.208 & -0.951 & & & & & & \\ & & -0.782 & -0.624 & & & 0.920 & -0.391 & -0.920 & 0.391 \\ & & & & 0.040 & -0.999 & & & & \\ & & & & & & 0.785 & 0.620 & & \\ & & & & & & & & 0.040 & 0.996 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} x_0' & y_0' \\ \begin{bmatrix} 0.782 & 0.624 \\ 0.040 & 0.999 \\ -0.785 & 0.620 \\ 0.040 & -0.996 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Система (3) решается под условием

$$V^T P V_1 + \Delta_1^T \bar{Q}_n^{-1} \Delta_1 = \min \quad (4)$$

В формулах (3) и (4)  $\Delta_1$  означает вектор поправок в координаты исходных пунктов,  $\Delta_2$ —вектор поправок в приближенные координаты определяемых пунктов (в нашем случае пункт  $0'$ ).

$P$ —означает весовую матрицу измеренных линий ( $P = \epsilon$ )

Под условием (4) возникает система нормальных уравнений

$$(A^T P A + \bar{Q}_n^{-1}) \Delta_1 + A^T P B \Delta_2 + A^T P L = 0 \quad (5)$$

$$B^T P A \Delta_1 + B^T P B \Delta_2 + B^T P L = 0$$

с матрицей

$$\begin{pmatrix} A^T P A + \bar{Q}_n^{-1} & A^T P B \\ B^T P A & B^T P B \end{pmatrix}$$

При решении системы (5) получается корреляционная матрица пунктов  $0', 1', 2', 3', 4', 5'$  на первом монтажном горизонте

$$K_1 = \sigma^2 \cdot Q = \sigma^2 \begin{pmatrix} A^T P A + \bar{Q}_n^{-1} & A^T P B \\ B^T P A & B^T P B \end{pmatrix}^{-1} = (0.5) \cdot \sigma^2$$

$$\times \begin{bmatrix} 4.738 & 1.125 & 0.195 & -0.250 & 0.011 & 0.106 & 0.216 & -0.219 & 0.413 \\ & 5.813 & -2.327 & 4.232 & -2.073 & 0.794 & 1.013 & -0.123 & 1.470 \\ & & 3.928 & -1.338 & 1.338 & -0.376 & 0.835 & 1.329 & -0.101 \\ & & & 4.303 & -1.617 & 0.645 & 1.263 & 0.440 & 1.299 \\ & & & & 6.507 & -0.611 & -0.235 & 0.187 & -0.550 \\ & & & & & 2.690 & -0.093 & 0.245 & 1.578 \\ & & & & & & 2.813 & -0.313 & 2.466 \\ & & & & & & & 3.541 & -1.565 \\ & & & & & & & & 4.058 \end{bmatrix}$$

0.178	-0.089	0.120
0.773	0.449	0.688
-0.617	2.640	-0.391
0.506	1.438	0.521
0.435	0.266	-0.361
2.040	-1.631	2.205
-0.293	2.399	-0.252
0.039	1.847	0.266
-0.918	0.613	0.586
3.158	-2.269	2.508
	6.382	-2.199
		2.788

Сравнивая дисперсии координат пунктов 1', 2', 3', 4' и 5' из матриц  $K$  и  $K_1$  видим, что совместное уравнивание поэтажной основы приводит к уменьшению дисперсии конечных результатов в ортогонального проектирования без повышения точности измерений. В [2] приводятся веские преимущества такого совместного уравнивания.

Матрица  $Q_2$  на втором монтажном горизонте определяется аналогичным образом, применяя формулу

$$Q_j = \begin{pmatrix} R + (Q_{j-1} + \bar{Q}_n)^{-1} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{pmatrix} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 8.746 & 1.723 & 0.490 & -0.802 & -0.040 & 0.117 & 0.157 & -0.314 & 0.376 \\ & 7.947 & -3.204 & 5.891 & -2.048 & 0.804 & 1.248 & 0.107 & 1.513 \\ & & 6.171 & -1.575 & 1.289 & -0.308 & 1.885 & 2.633 & 0.328 \\ & & & 6.056 & -1.623 & 0.670 & 1.850 & 1.115 & 1.511 \\ & & & & 10.502 & -0.693 & -0.231 & 0.248 & -0.509 \\ & & & & & 4.387 & -0.371 & 0.654 & 0.906 \\ & & & & & & 4.398 & -0.467 & 3.916 \\ & & & & & & & 6.066 & -2.709 \\ & & & & & & & & 6.170 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.182 & -0.221 & -0.126 \\ 0.749 & 0.867 & 0.689 \\ -0.821 & 4.778 & -0.431 \\ 0.416 & 2.589 & 0.509 \\ -0.379 & 0.217 & -0.299 \\ 3.921 & -2.946 & 4.004 \\ -0.669 & 4.178 & -0.599 \\ 0.124 & 3.436 & 0.606 \\ 1.435 & 0.929 & 0.907 \\ 5.314 & -4.109 & 4.459 \\ & 10.587 & -3.687 \\ & & 4.583 \end{bmatrix}$$

В формуле (6) матрицы  $R = A^T P A$ ,  $R_{12} = A^T P B$ ,  $R_{22} = B^T P B$  будут постоянными. Как показано в [2], матрицу  $Q$  можно получить и по рекуррентной формуле

$$Q_i = Q_{i-1} \frac{Q_{i-1} a_i^T \cdot a_i Q_{i-1}}{1/p_i + a_i Q_{i-1} a_i^T} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

путем последовательного присоединения всех измерений. Здесь  $a_i$  — строка матрицы коэффициентов уравнений поправок, соответствующая  $i$ -му измерению. В качестве начальной матрицы  $Q_0$  можно принять диагональную матрицу  $Q_0 = i \cdot 0^5 E$ .

Если координаты группы определяемых точек выступают как исходные с известной матрицей  $0$  исх. д. вместо диагонального блока  $0$  матрице  $Q_0$  для этих пунктов вводится матрица  $Q$  исх. д. В нашем примере эта матрица равна  $Q_{j-1} + Q_n$ . Таким образом,

$$Q_0 = \begin{pmatrix} Q_{j-1} + Q_n & 0 \\ 0 & 10^k E \end{pmatrix},$$

причем верхний ненулевой блок имеет размер  $10 \times 10$  и относится к пунктам 1—5, а нижний—размера  $2 \times 2$ —к пункту. Показатель степени  $K=5$ .

Матрица  $Q_1$  (см. приложение 1). Матрицу  $Q_2$  на втором монтажном горизонте определили по (7); (см. приложение 2). На третьем монтажном горизонте  $Q_3$  при одной и той же схеме измерений равна (см. приложение 3). На четвертом монтажном горизонте  $Q_4$  равна (см. приложение 4). На пятом монтажном горизонте  $Q_5$  равна (см. приложение 5). На шестом монтажном горизонте при одной и той же схеме измерений  $Q_6$  равна (см. приложение 6).

Как видно из результатов, при одной и той же схеме измерений на различных монтажных горизонтах (начиная с 1-го), разность между матрицами  $Q_j$  и  $Q_{j-1}$  при  $j \geq 3$  постоянна.

Таким образом, как видим, для любого монтажного горизонта при  $j \geq 3$  матрица  $Q_j = Q_2 + (j-2)\Delta Q$ . Все результаты вычислений по данному алгоритму сделали по программе на языке BEISIK для ЭВМ «ДВК»-2.

Ереванский политехнический институт

Поступила 16.I.1990.