

совокупную современную активизацию Карпато-Валканского региона и может использоваться в качестве исходной информации при интерполировании и прогнозе СВДЗП методом средней квадратической коллокации с целью последующего его картирования.

1. *Belousov V. V.* Основы геотектоники. М., 1975. 2. *Есеева Э. М., Курциук В. В.* Статистический анализ поля современных вертикальных движений земной коры Карпато-Валканского региона и активные глубинные структуры. К., 1986. С. 20. Рукопись деп. в УкрНИИГТИ, № 256 Ук-Д86. 3. *Курциук В. В., Скрыдь В. А.* Предварительный статистический анализ поля вертикальных движений земной коры. — Изв. вузов. Геология и аэрофотогеодезия, 1979. Вып. 1. С. 60—64. 4. *Курциук В. В., Скрыдь В. А.* О нестационарности скоростей современных вертикальных движений земной коры // Геология, картография и статистический анализ поля скоростей современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы // Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. М., 1983. С. 148—150. 6. *Машинский А. И.* Способ наименьших квадратов. М., 1968. 7. *Юо I (Ed.)* The map of recent vertical movements of the Carpathian—Balkan region. Vidarpest, 1979. 8. *Meier S.* Signifikanzprüfung recente vertikaler Erdsinkenbewegungen mit Hilfe von Korrelationskoeffizienten // Geol. Jahrb. Leipzig. 1984. V. 93. № 5. S. 379—391. 9. *Moritz H.* Least-squares collocation // Publ. Dept. Geod. Komm., A., 1973. V. 75. P. 91. 10. *Moritz H.* Statistical foundation of collocation // Rep. of Geod. Sci., Ohio State Univ. 1978. P. 75.

Статья поступила в редакцию 29. 01. 86

УДК 528.48+621.31.121

### ИЗРАГИМ СЯЕД АБД ЭЛЪМЕНЕМ

## ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ АРЕ

Опорные геодезические сети в Египте целесообразно создавать в виде цепей триангуляции, образующих единую систему замкнутых полигонов. Общее направление таких цепей, расположения в них базисов и пунктов Лапласа показано на рисунке.

Длины сторон треугольников проектной сети 25... 40 км, значения горизонтальных углов в среднем 60°. Сеть составлена на карте масштаба 1:100000. Всего запроектировано 406 пунктов. Цель данной статьи — исследование точностных характеристик проекта, включающее предвычисление средних квадратических ошибок длин, замыкающих между базисными сторонами, поперечных сдвигов этих замыкающих и их дирекционных углов. Выбраны эти параметры потому, что они определяют как точность взаимного положения пунктов, так и влияние ошибок исходных данных на последующие построения.

Для получения исходной информации о сети были сняты прямоугольные координаты  $x, y$  всех пунктов. В дальнейшем их считали истинными величинами. По ним вычислены дирекционные

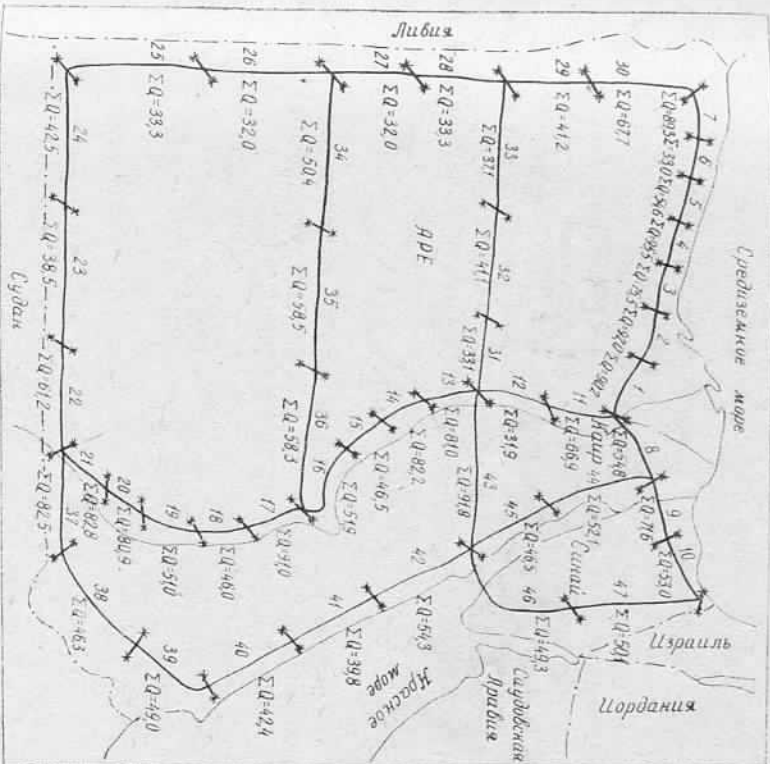
углы направлений. Расчеты произведены в следующей последовательности.  
По координатам  $x$  и  $y$  вычислены дирекционные углы сторон  $\alpha$  триангуляционной сети с точностью до 0,01" по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

Используя те же  $x$  и  $y$ , по формуле

$$S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

определены длины всех сторон. Полученные таким путем  $\alpha$  и  $S$  также считали истинными величинами.



Обратные веса звеньев проекта АГС Египта.  
— пункт Лапласа; — базисная сторона; - - - государственная граница. М 1:4000000.

Оценка качества геометрического построения триангуляции 1-го класса. Ранее описанная сеть планируется как триангуляция 1-го класса. При выборе мест размещения базисных сторон в ней необходимо оценить качество геометрического построения каждого звена. Для этого использованы обратные веса  $Q$  звеньев, явля-

Ющиеся суммами обратных весов отдельных фигур, из которых состоит звено, т. е.

$$Q = \sum^n Q_i$$

где  $n$  — количество фигур в звене.

Значения  $Q_i$  вычисляются по формулам:

$$Q_1 = 1,33R_1$$

Для отдельного треугольника, предполагая в среднем равенство его сторон;

$$Q_1 = 1,00R_1$$

Для геодезического четырехугольника или центральной системы, где

$$R_1 = \delta_{\lambda_1}^2 + \delta_{\beta_1}^2 + \delta_{\lambda_2}^2 + \delta_{\beta_2}^2$$

$\delta_{\lambda_1}, \delta_{\beta_1}$  — выраженные в единицах шестого знака логарифма изменения логарифмов синусов связующих углов  $A_1, B_1$  треугольника при изменении его углов на 1".

**Предварительная оценка точности сети.** Для выяснения качества геометрического построения проектируемой астрономо-геодезической сети (АГС) и установления планируемой точности измерений выполнена предварительная оценка точности элементов новой АГС. Учтено, что любой элемент АГС можно оценивать по формуле средней квадратической ошибки функций уравненных величин

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}$$

где  $\mu$  — средняя квадратическая ошибка единицы веса. При предварительной оценке точности  $\mu$  соответствует средней квадратической ошибке измеряемого направления;

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{n-k}}$$

Здесь  $\sigma_i$  — вероятнейшие поправки к измеренным величинам;  $n$  — число измерений;  $k$  — число определяемых величин;  $n-k$  — число избыточных величин.

Значение  $1/P_F$ , т. е. обратный вес функции  $F$ , после уравнения выражается так:

$$1/P_F = [ff] - \frac{[af]^2}{[aa]} - \frac{[bf \cdot 1]^2}{[bb \cdot 1]} - \frac{[cf \cdot 2]^2}{[cc \cdot 2]} - \dots - \frac{[rf \cdot r - 1]^2}{[r \cdot r - 1]}$$

Здесь  $f = \frac{\partial F}{\partial x}$  — частные производные функции  $F$  по измеренным направлениям;  $a, b, c, \dots$  — коэффициенты условных значений.

В дальнейших расчетах использованы следующие формулы, полученные в предположении, что цепи равносторонних треугольников уравнены по направлениям независимо от условий фигур, дирекционных углов, базисов:

$$1) \text{ средняя квадратической ошибки логарифма стороны в средней ряду}$$

$$m_{lg s_c} = \sqrt{m_{lg v}^2 + \frac{2}{3} m_{\mu} \sum_{i=1}^k R_i \frac{1}{V_2}}$$

2) относительной ошибки этой стороны

$$\frac{m_{lg s_c}}{M \cdot 10^6} = \frac{m_{s_c}}{S_c}$$

3) средней квадратической ошибки азимута стороны

$$m_{\alpha_c} = \frac{1}{V_2} \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + \frac{2}{3} n \cdot m_{\mu}^2}$$

4) продольного сдвига ряда

$$m_L = \frac{L}{V_2} \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_{\mu}^2}{\rho}\right)^2 \frac{2k^2 - 3k + 10}{9k}}$$

5) поперечного сдвига ряда

$$m_q = \frac{L}{\rho V_2} \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + \frac{k^2 + 2k + 12}{15k} m_{\mu}^2}$$

Обратные веса звеньев проекта АГС Египта

Номер звена	Номер звена		Номер звена		Номер звена			
	ЭР	ЭД	ЭР	ЭД	ЭР	ЭД		
1	83,0	90,2	17	91,0	91,0	33	28,0	37,1
2	92,0	92,0	18	46,0	46,0	34	35,0	50,4
3	60,0	75,5	19	50,0	51,0	35	44,0	58,5
4	78,0	95,5	20	69,0	80,9	36	44,0	58,3
5	46,0	54,6	21	66,0	82,8	37	62,0	82,5
6	33,0	33,0	22	46,0	61,2	38	35,0	46,3
7	85,0	89,3	23	29,0	38,5	39	37,0	49,0
8	46,0	54,8	24	32,0	42,5	40	32,0	42,4
9	51,0	71,6	25	25,0	33,3	41	30,0	39,8
10	53,0	53,0	26	24,0	32,0	42	41,0	54,3
11	62,0	66,9	27	24,0	32,0	43	69,0	91,8
12	24,0	31,9	28	25,0	33,3	44	43,0	52,1
13	61,0	81,0	29	31,0	41,2	45	46,5	46,5
14	66,0	82,2	30	51,0	67,7	46	37,0	49,3
15	35,0	46,5	31	25,0	33,1	47	44,0	50,0
16	39,0	51,9	32	31,0	41,1			

Таблица 1  
 Результаты предварительной оценки точности АГС Египта

Звенья триангуляции	$m_{\text{гс}} S_c$	$\frac{1}{S \cdot m_{\text{гс}}}$	$m_{\text{гс}}$	$m_{L_i}$	$m_{\text{гс}}$	$M = \sqrt{m_{\text{гс}}^2 + m_{L_i}^2}$	$m_{\text{гс}L} = \frac{m_{\text{гс}}^2}{L}$	$\frac{1}{L \cdot m_{\text{гс}}}$
1	3,4	$1/128 \cdot 10^3$	1,0	0,8	0,6	1,0	0,5	$1/29 \cdot 10^4$
2	3,4	$1/128 \cdot 10^3$	0,9	0,5	0,4	0,6	0,5	$1/30 \cdot 10^4$
3	2,9	$1/150 \cdot 10^3$	1,0	0,6	0,4	0,7	0,5	$1/26 \cdot 10^4$
4	3,5	$1/124 \cdot 10^3$	0,6	0,6	0,5	0,8	0,6	$1/30 \cdot 10^4$
5	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	0,8	0,4	0,3	0,5	0,5	$1/43 \cdot 10^4$
6	2,2	$1/197 \cdot 10^3$	0,9	0,5	0,3	0,6	0,5	$1/26 \cdot 10^4$
7	3,5	$1/124 \cdot 10^3$	1,0	0,9	0,6	1,1	0,5	$1/25 \cdot 10^4$
8	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	0,9	0,6	0,5	0,8	0,6	$1/30 \cdot 10^4$
9	3,1	$1/140 \cdot 10^3$	0,9	0,9	0,7	1,1	0,5	$1/30 \cdot 10^4$
10	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	0,8	0,7	0,6	0,9	0,5	$1/30 \cdot 10^4$
11	2,9	$1/150 \cdot 10^3$	0,9	0,5	0,4	0,6	0,6	$1/27 \cdot 10^4$
12	2,0	$1/217 \cdot 10^3$	0,9	0,4	0,4	0,6	0,6	$1/34 \cdot 10^4$
13	3,2	$1/136 \cdot 10^3$	0,9	0,8	0,6	1,0	0,5	$1/29 \cdot 10^4$
14	3,3	$1/132 \cdot 10^3$	0,9	0,7	0,6	0,9	0,5	$1/33 \cdot 10^4$
15	2,6	$1/167 \cdot 10^3$	0,9	0,5	0,4	0,6	0,5	$1/32 \cdot 10^4$
16	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	0,8	0,5	0,4	0,6	0,5	$1/32 \cdot 10^4$
17	3,4	$1/128 \cdot 10^3$	1,0	0,8	0,6	1,0	0,6	$1/28 \cdot 10^4$
18	2,5	$1/174 \cdot 10^3$	0,8	0,6	0,5	0,8	0,5	$1/32 \cdot 10^4$
19	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	0,9	0,6	0,5	0,8	0,5	$1/32 \cdot 10^4$
20	3,2	$1/136 \cdot 10^3$	0,9	0,7	0,5	0,8	0,5	$1/32 \cdot 10^4$
21	3,3	$1/132 \cdot 10^3$	0,9	0,8	0,5	0,8	0,5	$1/30 \cdot 10^4$
22	2,9	$1/150 \cdot 10^3$	0,9	0,9	0,8	1,2	0,6	$1/32 \cdot 10^4$
23	2,4	$1/181 \cdot 10^3$	1,0	0,8	0,7	1,1	0,5	$1/40 \cdot 10^4$
24	2,5	$1/174 \cdot 10^3$	1,0	0,9	0,9	1,1	0,4	$1/35 \cdot 10^4$
25	2,3	$1/189 \cdot 10^3$	0,9	0,9	0,9	1,3	0,6	$1/35 \cdot 10^4$
26	2,2	$1/197 \cdot 10^3$	0,9	0,8	0,9	1,2	0,6	$1/40 \cdot 10^4$
27	2,2	$1/197 \cdot 10^3$	0,9	0,8	0,9	1,2	0,6	$1/40 \cdot 10^4$
28	2,3	$1/189 \cdot 10^3$	0,9	0,8	0,9	1,2	0,6	$1/40 \cdot 10^4$
29	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	1,0	0,9	0,7	0,9	0,6	$1/40 \cdot 10^4$
30	2,8	$1/155 \cdot 10^3$	1,0	0,8	0,6	1,0	0,5	$1/31 \cdot 10^4$
31	2,2	$1/197 \cdot 10^3$	0,9	0,7	0,6	0,9	0,6	$1/30 \cdot 10^4$
32	2,4	$1/181 \cdot 10^3$	0,9	0,7	0,6	0,9	0,6	$1/30 \cdot 10^4$
33	2,3	$1/189 \cdot 10^3$	0,9	0,7	0,6	0,9	0,6	$1/30 \cdot 10^4$
34	2,6	$1/167 \cdot 10^3$	1,0	1,5	1,1	1,8	0,6	$1/30 \cdot 10^4$
35	2,8	$1/155 \cdot 10^3$	1,0	1,4	1,1	1,8	0,6	$1/27 \cdot 10^4$
36	2,8	$1/155 \cdot 10^3$	1,0	1,5	1,1	1,8	0,6	$1/29 \cdot 10^4$
37	3,3	$1/131 \cdot 10^3$	0,9	1,0	0,8	1,2	0,6	$1/27 \cdot 10^4$
38	2,6	$1/167 \cdot 10^3$	0,9	1,1	0,9	1,4	0,5	$1/31 \cdot 10^4$
39	2,6	$1/167 \cdot 10^3$	0,9	1,1	0,9	1,4	0,6	$1/29 \cdot 10^4$
40	2,5	$1/174 \cdot 10^3$	0,9	1,0	0,8	1,3	0,5	$1/32 \cdot 10^4$
41	2,4	$1/181 \cdot 10^3$	0,9	1,1	0,9	1,4	0,6	$1/29 \cdot 10^4$
42	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	0,9	1,1	0,9	1,4	0,6	$1/29 \cdot 10^4$
43	3,4	$1/128 \cdot 10^3$	1,0	1,6	1,2	2,0	0,6	$1/26 \cdot 10^4$
44	2,7	$1/161 \cdot 10^3$	0,8	0,8	0,7	1,1	0,6	$1/31 \cdot 10^4$
45	2,6	$1/167 \cdot 10^3$	0,8	0,8	0,7	1,1	0,6	$1/31 \cdot 10^4$
46	2,6	$1/167 \cdot 10^3$	1,0	1,2	1,0	1,6	0,6	$1/28 \cdot 10^4$
47	2,6	$1/167 \cdot 10^3$	1,0	1,2	1,0	1,6	0,6	$1/28 \cdot 10^4$

б) средней квадратической ошибки конечной точки ряда

$$M_k = \sqrt{m_i^2 + m_{\text{гс}}^2}$$

7) средней квадратической ошибки азимута диагонали ряда

$$m_{\text{гс}L} = \frac{m_{\text{гс}}}{L} \rho;$$

8) относительной ошибки диагонали ряда

$$m_L/L.$$

В этих формулах  $S_c$  — сторона ряда в его середине;  $m_{\text{гс}}$  — средняя квадратическая ошибка измеренного направления;  $b$  — исходная базисная сторона;  $R_i = \delta \alpha_i + \delta \beta_i + \delta \gamma_i + \delta \delta_i$ ;  $n$  — число треугольников от исходной стороны до оцениваемой стороны;  $m_{\text{гс}}$  — средняя квадратическая ошибка азимута исходной стороны;  $L$  — длина диагонали ряда, км;  $k$  — число промежуточных сторон звена.

При вычислениях по всем формулам в качестве исходных данных приняты значения:

$$m_{\text{гс}} = 0,7'';$$

$$m_{\text{гс}L} = \frac{m_{\text{гс}}}{b} \cdot M \cdot 10 = \frac{1}{400000} \cdot 0,4343 \cdot 10 = 1,1 \text{ единицы шестого знака до}$$

гарифма;  $m_{\text{гс}} = 0,5''$ ;  $r = 206265''$ .

Значения  $R_i$  можно выбирать из специальных таблиц. Формулы (1) — (4) использованы для выбора количества и мест размещения базисных сторон, показанных на рисунке. Всего запроектирована 41 базисная сторона. Результаты вычислений обратных весов в 47 звеньях, образованных между базисными сторонами, приведены в табл. 1.

Для удовлетворения требований теории определения редукционных элементов, а также для увеличения жесткости сети запланированы аэропункты на концах измеряемых выходных сторон с расчетом, чтобы расстояние между ними не превышало 200 км.

Базисные (выходные) стороны предполагается измерять светодальномером с относительной ошибкой не ниже  $1/400000$ . В зависимости от вида используемых приборов, возможно измерение базисов по классической схеме с переходом от них к выходным сторонам. Однако точность таких измерений необходимо повышать до  $1/1000000$ . В нашем случае выбор количества и мест размещения базисных сторон выполнялся так, что обратный вес звена триангуляции между соседними базисами не превышал 100 ед. шестого знака логарифма.

В табл. 2 приведены результаты предварительной оценки точности проекта АГС Египта. Из табл. 2 видно, что проект новой АГС в общем удовлетворяет современным требованиям.