

Принимая $Q_{as} \approx 2 \frac{S\rho Q}{n}$, получаем приближенную формулу

$$m_s \leq \Delta S_{кр} / 2t \sqrt{2}. \quad (28)$$

Формулы (19) и (27) или (28) можно принять исходными при расчетах точности нивелирования и проектирования кинематических сетей.

Математический аппарат планирования эксперимента позволяет получить максимум требуемой информации об объекте (процессе деформации сооружений) при минимальных затратах времени или средств. Таким образом, предварительный проект кинематической сети должен определить такую матрицу конфигурации сети, при которой

$$S\rho Q = \min. \quad (29)$$

Если геометрия предварительного проекта сети и рассчитанная точность наблюдений не удовлетворяют требуемой точности получения осадок всех точек или части их, то предстоит улучшение проекта сети путем включения дополнительных связей в схему, увеличения точности измерения некоторых ходов и т. д.

Для решения этой задачи разработаны алгоритмы [2, 4]. Рассмотрим теперь, как периодичность наблюдений зависит от скорости осадок и точности измерений. Ранее отмечалось [7], что частоту измерений для строящихся зданий определяют по признаку роста нагрузки на основание. В период эксплуатации сооружения измерения продолжают 2—3 раза в год до стабилизации осадок, а для особо чувствительных к деформациям сооружений наблюдения выполняются и после стабилизации осадок с интервалом до 2—3 лет.

Как видим, в определении периодичности наблюдений имеется некоторая неопределенность. Так, в литературе нет сведений о периодичности в нестандартных случаях, для зданий и сооружений, которые в зависимости от особенностей физико-механических свойств грунтов и под действием вибрации фундаментом, вызванной работой всевозможных машин, постоянно оседают.

Периодичность наблюдений, обусловленную скоростью осадок и точностью измерений, можно найти исходя из того, что осадка должна быть больше предельной ошибки определения осадки и меньше предельно допустимого (критического) ее значения (допуска), т. е.

$$S_{кр} > t(\sigma_{\max} + \Delta\sigma_{\max}) > \Delta\sigma. \quad (30)$$

$$\text{Отсюда} \quad \frac{S_{кр}}{\sigma_{\max} + \Delta\sigma_{\max}} > t > \frac{\Delta\sigma}{\sigma_{\max} + \Delta\sigma_{\max}}, \quad (31)$$

где t — периодичность наблюдений (частота наблюдений); $S_{кр}$ — критическое значение абсолютной осадки (допуск); $\Delta\sigma$ — предельная ошибка определения осадки; σ_{\max} — максимальная скорость осадок (например, мм в год); $\Delta\sigma_{\max}$ — предельная ошибка определения скорости осадок.

Для неравномерных осадок напишем

$$\Delta S_{кр} > t(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) > \Delta\sigma_s, \quad (32)$$

$$\text{и} \quad \frac{\Delta S_{кр}}{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}} > t > \frac{\Delta\sigma_s}{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}, \quad (33)$$

где $\Delta S_{кр}$ — критическая неравномерная осадка (допуск); $\Delta\sigma_s$ — предельная ошибка определения разности осадок ($3\Delta\sigma_s \geq 2\Delta\sigma_s$); σ_{\min} — минимальная скорость осадок.

Выражения (31) и (33) имеют не только принципиальное значение при решении вопроса периодичности наблюдений за осадками инженерных сооружений. Нижний предел их отражает от чересчур большого и ненужного числа повторения измерений. Но для получения полного спектра осадок от начала до конца процесса их консолидации необходимы дополнительные исследования по определению периодичности наблюдений, как, например, это показано в [3].

Научно обоснованная периодичность измерений позволяет не только предупредить аварийную ситуацию здания или сооружения, но и ведет к экономии государственных средств.

Список литературы: 1. Маргузе Ю. И., Пенев Пенко Д., Костадинов Костадин Н. Определение деформаций инженерных сооружений по разностям наблюдений. — Изв. вузов. Геология и аэрофотогеодезия, 1983, № 6, с. 126—128.
2. Нейман Ю. М. Алгоритм проектирования геодезического построения на ЭВМ. — Изв. вузов. Геология и аэрофотогеодезия, 1966, № 6, с. 33—45.
3. Николаев С. А. Статистические исследования осадок инженерных сооружений. — М.: Недра, 1983. — 150 с.
4. Тамуртис Э. П. Оптимальные методы проектирования геодезических сетей. — М.: Недра, 1979. — 136 с.
5. СНиП II—2—75. Строительные нормы и правила. Геодезические работы в строительстве. — М.: Стройиздат, 1976. — 24 с.
6. СНиП II—15—74. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1975. — 40 с.
7. Сравнительное руководство по инженерно-геодезическим работам. — М.: Недра, 1980. — 782 с.
8. Kazbeivilius S., Klimauskas A., Kostiauskas M. ir kt. Talkmoji geodezija. — Vilnius, Moksias, 1979. — 328 p.

Статья поступила в редакцию 08.02.85

НАК 528.33

К. Р. ТРЕТЬЯК

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ В ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ СЕТЯХ ИНЖЕНЕРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время в геодезической литературе рекомендуется широкое внедрение линейно-угловых сетей при создании планового обоснования специальных инженерных объектов, в частности при строительстве и наблюдении за деформациями крупных гидротехнических комплексов и уникальных сооружений.

Несомненно преимущество линейно-угловых построений перед обычной триангуляцией или трилатерацией. Оно заключается в возможности компенсации их недостатков, удешевлении стоимости сети и достижения большей гибкости в проектировании схемы измерений.

Однако в практике линейно-угловые сети применяются не очень широко. Основным препятствием внедрения является ряд нерешенных вопросов, связанных с их проектированием. В частности, возникают затруднения с подсчетом точности таких построений. Известные формулы априорной оценки точности верны только для сетей из правильных геометрических фигур (треугольники, четырехугольники, центральные системы). В большинстве же случаев схемы измерений в высокоточных инженерных сетях имеют сложную геометрическую конфигурацию за счет избыточных измерений. Поэтому применение таких формул не всегда возможно.

Остается открытым вопрос отбора избыточных измерений с учетом их информативности и стоимости. Решение его позволит выполнить совместную оптимизацию линейно-угловых сетей в точностном и экономическом смысле.

В связи с этим нами разработана методика, позволяющая с помощью ЭВМ выполнять оптимальное экономико-точностное проектирование линейно-угловых сетей по известным критериям A, D, E, I, G -оптимизации.

Методика разработана на базе алгоритма оптимизации схем измерений в сетях трилатерации [2].

Оптимальное проектирование схемы измерений состоит в нахождении такой схемы для сети с жестко закрепленными пунктами и заданными средними квадратическими ошибками измерений, которая удовлетворяет минимальной стоимости и заданным условиям точности

$$f_i K f_i \leq a_i, \quad (1)$$

где f_i — весовые функции; K — ковариационная матрица; a_i — заданные точностные характеристики.

Первый шаг разработанного алгоритма состоит в вычислении ковариационной матрицы всех допустимых измерений

$$K_g = \mu (A^* P A)^{-1} \quad (2)$$

и проверке выполнения неравенств

$$f_i^T K_g f_i \leq a_i, \quad (3)$$

где μ — ошибка единицы веса, приравниваемая к средней квадратической ошибке измерения направления; A — матрица уравнений погрешностей всех допустимых измерений; P — весовая матрица.

При невыполнении неравенств заданная точность в сети не достигается. В ином случае оптимизация выполняется путем последовательного исключения малоэффективных измерений при условии

$$F(K_m) - F(K_{m-1}) = \min; \quad (4) \quad f_i^T K_m f_i \leq a_i, \quad (5)$$

где K_m, K_{m-1} — ковариационная матрица до и после исключения очередного измерения; F — функция соответствующего критерия оптимизации; $A-Sp(K_m), D-\det(K_m), E-\Delta_{\max}(K_m), I-\Delta_{\min}(K_m)/\Delta_{\min}(K_m), G$ — погрешности (длины стороны, направления, углы) в наиболее слабом месте сети, символами $Sp, \det, \Delta_{\max}, \Delta_{\max}/\Delta_{\min}$ обозначены след, детерминант, максимальное собственное число и число Тодда ковариационной матрицы; C_m — стоимость измерения.

Решение (4) на каждом этапе отбора выполняется перебором всех допустимых измерений. Измерения, удовлетворяющие условию (4), из группы возможных измерений исключаются. Если при отборе измерений обнаружено невыполнение условия (5), то эти измерения тоже исключаются из группы возможных измерений и

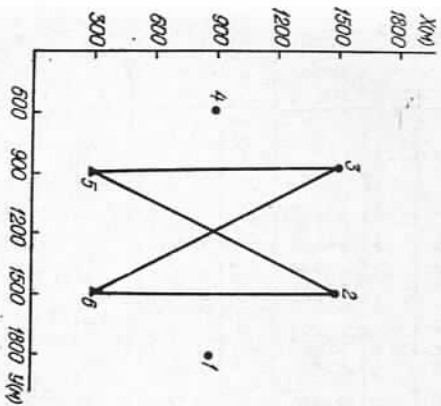


Рис. 1. Схема измерения линий в оптимальной модели линейно-угловой сети.

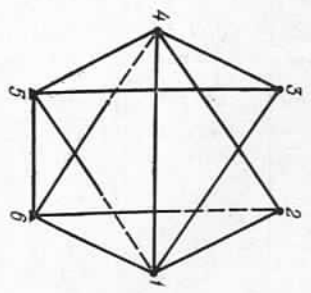


Рис. 2. Схема измерения направлений в оптимальной модели линейно-угловой сети.

переходят в группу необходимых для получения оптимальной модели.

Приведем пример оптимизации измерений на конкретной сети. Для сети из шести жестко закрепленных пунктов (рис. 1) требуется составить оптимальные модели измерений по A, D, E, I, G ($\max A_i = \min$), G ($\max m_i a_i = \min$), G ($\max \frac{m_i}{S_i} = \min$) критериям

оптимизации; где A_i — наибольшая погрешность направления, погрешностей, $m_i a_i$ — максимальная погрешность направления, m_i/S_i — максимальная относительная погрешность длины линии. Средние квадратические ошибки измерения направлений и линий соответственно равны $m_a = 5''$ и $m_s = 1,0$ см. Направления будут измеряться с весом, равным 1, тогда вес измеренной линии будет m_g^2/m_s^2 . Линии будут измеряться светодальномером ЕОК-2000, а углы — теодолитом Т-2 тремя приемами. Согласно [1], на измерение одной линии бригада затратит в среднем 30 мин. Для измерения углов [1] регламентируется расход времени бригадой на один пункт в зависимости от класса сети и категории трудности.

Характеристики оптимальных моделей

Таблица 1

Оптимальная модель	Наименование необходимых линий, направлений	max A (см) max m _α S Стоимость модели, руб.
A	2-5, 2-6, 3-5, 3-6 5-4, 1-4, 4-1, 6-1, 5-1, 6-4, 2-4 2-1, 3-1, 3-4, 5-6, 6-5, 1-3, 4-2 4-3, 5-3, 1-6, 4-5, 1-2, 3-5, 6-2	1,99 5,5 1/28000 27,5
D	1-3, 1-6, 2-3, 2-4, 2-6, 3-4, 4-5 5-6, 6-5, 1-5, 1-6, 2-6, 3-5, 4-1 4-2, 4-5, 4-6, 5-1, 5-3, 5-4, 6-1 6-2, 6-3, 2-4, 1-4, 3-2, 1-3, 3-4	2,00 4,6 1/57000 37,1
E	2-6, 3-5, 2-5, 3-6 6-1, 1-4, 4-1, 5-4, 5-6, 2-4, 3-1 5-2, 5-3, 6-2, 6-3, 6-5, 2-1, 2-3 3-2, 3-4, 6-4, 5-1, 4-5, 1-6, 1-5, 4-6	2,00 5,7 1/27000 28,2
I	2-6, 3-5, 2-5, 3-6 6-1, 1-4, 4-1, 5-4, 1-5, 3-4, 5-6, 6-4 6-5, 1-2, 1-3, 1-6, 2-1, 2-5, 2-6, 3-5 3-6, 4-2, 4-3, 4-5, 4-6, 5-1, 5-2, 6-3	2,00 5,1 1/28000 29,6
G (max A _i = min)	2-5, 2-6, 3-5, 3-6 6-1, 1-4, 4-1, 5-4, 2-1, 2-4, 3-1, 6-4 3-4, 5-1, 5-6, 6-5, 2-5, 3-6, 1-2, 4-6 5-2, 5-3, 6-2, 1-3, 1-5, 6-3	1,98 6,0 1/28000 28,2
G (max m _α = min)	1-2, 1-6, 3-6, 2-5, 3-5 5-6, 6-5, 5-4, 6-1, 1-6, 3-2, 4-2, 5-2 1-3, 1-4, 5-3, 1-2, 6-3, 2-4, 6-4, 4-6 2-1, 3-4, 4-3, 4-5	2,00 5,0 1/31000 30,0
G (max m _i /S = min)	2-3, 3-4, 3-6, 4-5, 1-2, 1-6 5-6, 6-5, 1-5, 4-5, 5-3, 5-4, 6-1, 6-3 1-6, 5-1, 6-2, 1-2, 1-3, 1-4, 2-5, 3-4 3-5, 4-1, 4-2, 4-6, 5-2, 2-1, 2-3	2,00 4,9 1/67000 35,3

В нашем примере такой подход к подсчету расхода времени при менить нельзя. Исходя из опыта наблюдений триангуляций, прием, что добавление одного направления на пункте увеличивает время наблюдений в среднем на 15 мин. Исходя из [1] и учитывая расходы на содержание производственного персонала и нормы времени на производство видов работ, определена стоимость измерения одной линии $C_{г1}=3,20$ руб. и стоимость наблюдения

одного направления $C_{г2}=0,70$ руб. Допустимые точностные параметры сети $A=2,0$ см, $m_{α доп}=6''$, $m_{S доп}=1/25000$.

Результаты работы алгоритма приведены в табл. 1 и 2. Для поставленной задачи наиболее экономичной является модель, полученная по A-критерию оптимизации (рис. 1, 2). Ближайшие по экономичности к ней E-, I-, G (max A_i = min) - модели.

Элементы эллипсов погрешностей в оптимальных моделях

Таблица 2

Номер пункта	Критерий оптимизации											
	A		D		E							
	A, см	B, см	φ°	A, см	B, см	φ°						
1	1,97	1,21	178	1,43	0,93	121	1,91	1,41	177	2,00	1,19	179
2	1,99	0,70	104	1,98	0,84	97	2,00	0,67	104	1,97	0,71	104
3	1,99	0,70	76	2,00	0,97	72	2,00	0,67	76	1,97	0,71	77
4	1,98	1,18	3	1,49	0,86	52	1,91	1,41	3	2,00	1,19	1

Продолжение табл. 2

Номер пункта	Критерий оптимизации								
	G (max A _i = min)			G (max m _α S = min)					
	A, см	B, см	φ°	A, см	B, см	φ°			
1	1,92	1,43	4	1,39	0,87	129	1,40	0,91	123
2	1,95	0,71	105	2,00	0,77	107	1,98	1,08	97
3	1,98	0,71	77	1,93	0,68	76	2,00	0,80	70
4	1,86	1,55	178	1,98	1,25	2	1,53	0,87	54

Менее эффективной получилась модель по D-критерию. Следует отметить, что неоднозначный набор измерений в разных моделях позволяет более эффективно применять разработанный алгоритм для конкретных условий местности и рельефа.

Список литературы: 1. Единые нормы выработки (времени) на геодезические и топографические работы. — М.: Недра, 1982. — 231 с. 2. Третьяк К. Р. Оптимальное проектирование схем измерений в сетях триангуляции. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1985, вып. 42, с. 79—85.

Статья поступила в редакцию 09.02.85