

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

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

Легко видеть, что

$$M_{\mu_i}/M_{\mu_i} = M_{\mu_i} \sqrt{[P_{ij}]}. \quad (15)$$

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

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

Число N элементов в сумме	Средние квадратические ошибки $M \cdot 10^3$ и номера используемых формул				
	M_{μ_1} (11)	M_{μ_2} (12)	M_{μ_3} (13)	M_{μ_4} (14)	$M_{\mu_5} = M_{\mu_6}$ (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	0,5054	0,1660	2,0957
9	0,3024	0,3668	0,4742	0,1531	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 взятым из [8].

На примере космических геодезических сетей экспериментально установлено, что точность среднего масштаба μ_i (при $N \geq 15$) грешности других средних (средневесовых) масштабов, а погрешности 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. Бодисков В. Д., Гайдаев 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 аэрофотогеодезия, 1982, вып. 35. 3. Журкин И. Г. Об одном алгоритме преобразования координат в задачах фотограмметрии. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотогеодезия, 1980, № 5.

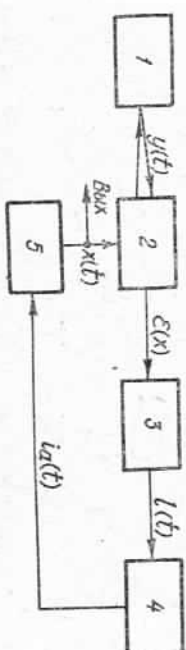
4. Кириллов В. Г. Характер линейных искажений при преобразованных координат в трехмерном пространстве. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1979, вып. 30. 5. Крылов В. И. Определение масштаба сети космической триангуляции по фотоаэриальным и лазерным наблюдениям ИСЗ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1978. 6. Машинков М. М. Космическая геодезия и вопросы теории в геодезии. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотогеодезия, 1980, № 1. 7. Фотограмметрия с применением электронной цифровой вычислительной машины. — М.: Недра, 1975.

Статья поступила в редакцию 08.12.83

УДК 528.02-52

Ю. В. КОЛОДЕЖ, Ю. Л. ФАНВУЖИНСКИЙ (ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ)

В настоящее время актуальной проблемой является разработка инженерно-геодезических систем (ИГИС) для измерения геодезических координат стохастически перемещающихся объектов. Поскольку 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 — линейный датчик, расположенный на объекте, на которую падает и отражается излучаемый системой лазерный пучок; 2 — измерительное устройство, обрабатывающее входной сигнал $y(t)$ об угловом положении объекта и выходящий сигнал $x(t)$, синхронизированный с рабочей мерой системы, и формирующий сигнал $l(t)$ об угловом положении объекта; 3 — преобразователь информации об угловом положении объекта в электрический сигнал $i_a(t)$; 4 — усилитель, выходящий сигнал $i_a(t)$ которого — ток управления электродвигателем привода; 5 — электропривод с редуктором и вращающая им рабочая мера системы, с которой синхронизируется 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 однокординатной 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.

При смещении объекта измерительное устройство вырабатывает сигнал рассогласования, который система стремится свести к нулю. Поворот рабочей меры дает информацию об угловом положении объекта.

Если производить измерение сигнала (в нашем случае угла), изменяющегося случайным образом, итоговая погрешность измерений будет определяться ошибкой измерений в стационарных условиях и ошибкой слежения, вызванной инерционностью ИГИС. Тогда для средней квадратической погрешности угла оптимизируемой ИГИС можно записать [4]

$$\epsilon_{y_{\text{угл}}} = \epsilon_{y_{\text{угл}}}(W, S_{y_{\text{угл}}}, S_{N_{y_{\text{угл}}}}),$$

где W — передаточная функция разомкнутой системы; $S_{y_{\text{угл}}}$ — спектральные плотности «сигнала» (значения угла) и «помехи» (ошибки геодезических измерений в стационарных условиях).

В большинстве случаев для произвольно перемещающегося объекта функция значения угла не является стационарной случайной функцией, зато ее производную можно считать стационарной. Поэтому для расчета воспользуемся формулой [5]

$$\epsilon_{y_{\text{угл}}}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{1 - \Phi(j\omega)}{j\omega} \right|^2 S_{y_{\text{угл}}}(\omega) d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\Phi(j\omega)|^2 S_{N_{y_{\text{угл}}}}(\omega) d\omega, \quad (1)$$

где $\Phi(j\omega)$ — передаточная функция замкнутой ИГИС; $S_{y_{\text{угл}}}$ — спектральная плотность производной входного сигнала $y_{\text{угл}}$ ИГИС. В свою очередь

$$\Phi(j\omega) = W(j\omega)/(1 + W(j\omega)). \quad (2)$$

Перейдем к определению значений параметров, входящих в (1). Предварительно найдем вид передаточной функции разомкнутой ИГИС. Если измерения производить лазерным геодезическим угломером с автоматическим съемом информации [3], меняющимся углом поворота объекта, то дифференциальные уравнения и соответствующие преобразования Лапласа имеют вид:

для погрешности $e(t) = y(t) - x(t)$;

для преобразователя информации о значении угла $e = k_0 e$, т. е. $e(s)/e(s) = k_0$;

для усилителя $i_a = k_y e$, т. е. $i_a(s)/e(s) = k_y$;

для двигателя электропривода $I \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} = K_A i_a$, т. е.

$$\frac{x(s)}{i_a(s)} = \frac{k_A}{bs \left(\frac{I}{b}s + 1 \right)}.$$

Здесь e — напряжение на входе усилителя; i_a — ток якоря двигателя; k_y — коэффициент усиления усилителя; I — приведенный момент инерции; b — коэффициент вязкого трения (в приведенном моменте инерции и коэффициенте вязкого трения учитывается кинематика как собственно двигателя, так и редуктора и вращающихся частей автоматического угломера. Методика расчета этих величин изложена в [2]); k_0, k_A — постоянные коэффициенты.

Тогда передаточная функция разомкнутой системы как отношение сигнала выхода к сигналу входа имеет вид

$$W(s) = \frac{x(s)}{e(s)} = k_0 k_y \frac{k_A}{bs \left(\frac{I}{b}s + 1 \right)} = \frac{k}{s(Ts + 1)}, \quad (3)$$

где

$$k = k_0 k_y k_A / b; \quad (4)$$

$$T = I/b. \quad (5)$$

По формуле (2) определим передаточную функцию замкнутой системы

$$\Phi(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s)} = \frac{k}{Ts^2 + s + k}. \quad (6)$$

Согласно [5], спектральные плотности $S_{N_{y_{\text{угл}}}}$ и $S_{y_{\text{угл}}}$ имеют вид

$$S_{N_{y_{\text{угл}}}} = \sigma^2, \quad S_{y_{\text{угл}}} = a^2 \frac{2\mu}{\omega^2 + \mu^2}. \quad (7)$$

Здесь σ — среднее квадратическое отклонение (статистическая геодезическая ошибка); a — среднее значение скорости углового перемещения; $\mu = 1/T$, где T — среднее значение интервала времени, когда скорость изменения угла можно считать постоянной. Таким образом, T характеризует случайный процесс (изменение геодезической координаты) в отличие от T , определяющего инерционность измерительной системы (ИГИС).

Подставляя значения $\Phi(j\omega)$, $S_{y_{\text{угл}}}$ и $S_{N_{y_{\text{угл}}}}$ из формул (6) и (7) в (1), после вычисления интегралов, принимая $s = j\omega$, получаем:

$$\epsilon_{y_{\text{угл}}}^2 = a^2 \frac{\mu T^2 k + \mu T + 1}{k(k + \mu + \mu^2 T)} + \frac{\sigma^2}{2} k = \frac{(\mu T + 1)a^2}{k} + \frac{(T a)^2 \mu}{2} + \frac{\sigma^2}{2} k. \quad (8)$$

Обыкновенно ИГИС оптимизируют, когда известны статистические характеристики «сигнала» и «помехи». Поэтому выберем

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

значения коэффициентов a и μ , определяющие спектральную плотность $S_{\text{УЛТ}}$, исходя из характера перемещения объекта. Пусть для исследуемого процесса эти коэффициенты будут $a = 13^\circ/\text{с}$; $\mu = 0,1 \text{ с}^{-1}$. Известными можно считать также величины δ и γ . В частности, для системы, описанной в [3], можно принять, что средняя квадратическая погрешность измерения угла в стандартных условиях $\sigma = 20''$, а величина, определяемая параметром применяемого привода, $T = 1/b = 5 \text{ с}$. Тогда задача оптимизации сводится к поиску такого положительного k^* , при котором функция $e^2(k)$ будет иметь минимум. Произведя вычисления численными методами, получаем $k^* = 1,75 \text{ с}^{-1}$. При этом средняя величина квадрата суммарной погрешности будет $e^2(k^*) = 1,75^2 = 648''^2$, а само значение средней квадратической ошибки $e = 25''$.

Согласно формуле (4) коэффициент k является функцией нескольких параметров, описывающих передаточные свойства отдельных блоков ИГИС. Поэтому итоговый шаг оптимизации — выбор таких значений параметров системы, при которых коэффициент k принял бы расчетное значение. Если считать, например, что коэффициенты b , k_d и k_o не подлежат изменению в процессе проектирования ИГИС, то из формулы (4) получим необходимое значение коэффициента усиления для оптимальной ИГИС

$$k_y = \frac{b}{k_o k_d} k. \quad (9)$$

Отметим, что на практике не удается синтезировать систему передаточная функция которой была бы строго равна расчетной как при сборке системы, так и в течение ее эксплуатации. Поэтому дополнительно зададимся еще и целью определить такой интервал изменения параметра k , на границах которого $e^2(k)$ не будет превышать $e^2(k^*)$ более, чем на заданную величину, например на 5%, т. е. $e^2(k_{\text{min}}) = e^2(k_{\text{max}}) = 1,05 e^2(k^*)$. Тогда в нашем случае мы получим $e^2(k_{\text{min}}) = e^2(k_{\text{max}}) = 681''^2$, откуда $k_{\text{min}} = 1,4 k_{\text{max}} = 2,3$. При этом $(k^* - k_{\text{min}})/k^* = 0,2$; $(k_{\text{max}} - k^*)/k^* = 0,3$, т. е. при уменьшении k до 20%, либо при увеличении его до 30% по отношению к k^* , квадрат средней квадратической погрешности возрастет не более чем на 5%.

Список литературы: 1. *Болшаков В. Д.* Теория ошибок наблюдений. М.: Недра, 1983. 2. *Зайцев Г. Ф., Костюк В. И., Чинаев П. И.* Основы автоматического управления и регулирования. — К.: Техника, 1978. 3. *Колодеж Ю. В.* А. с. 879 301 (СССР). Углонизмерительное устройство. — Опубл. в Б. И., 1981 № 41. 4. *Пугачев В. С.* Теория случайных функций. — М.: Физматгиз, 1962. 5. *Файнштейнский Ю. Д.* Вопросы оптимизации автоматических измерительных систем геодезического назначения. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1984, вып. 39.

Статья поступила в редакцию 09.02.84

В современных цветных ЭЛТ наиболее перспективная трехпрожечная электронно-оптическая система (ЭОС) с общими электродами в виде чашек овального сечения корытообразной формы с тремя отверстиями по ходу электронных лучей *. Такая ЭОС применена в кинескопе 25 ЛКД.

В данной ЭОС сведение лучей производится в центре маски за счет использования эффекта отклонения пучка в бипотенциальной линзе при смещении образующих ее электродов, в поле с нарушенной осевой симметрией.

Преимущество данной системы — возможность автоматического сведения электронных пучков за счет применения специальной отклоняющей системы (ОС) с наперед заданным астigmatизмом. Для этого необходима очень высокая точность и прецизионность изготовления деталей ЭОС в целях обеспечения планарности и взаимной ориентации электронных пучков.

В данной работе исследованы геометрические параметры ЭОС серийных кинескопов 25 ЛКД, их разбор и влияние на характеристики ЭЛТ. Геометрические параметры измеряли с помощью микроскопа УИМ-21 в специальной оправке. Проверили расстояния модулятор-ускоряющий электрод $l_{\text{м-у}}$, перекосы между электродами, диаметр отверстия в модуляторе, соосность модулятора и фокусирующего электрода, эксцентриситет со стороны модуляторов. Результаты измерений даны в табл. 1. Для оценки эллиптичности отверстий в модуляторах измерения проводили в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для трех прожечников ЭОС, которые в табл. 1 обозначены буквами К, З, С.

Для исследуемых ЭОС измеряли значения запирающего напряжения прожечников, фокусирующего напряжения и их разброс от прожечника к прожечнику для каждой ЭОС. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Анализ полученных результатов показывает, что причиной разброса запирающего напряжения являются разбросы катодов по базам и диаметры отверстий модулятора. Влияние толщины модулятора не учитывается, так как он общий для трех прожечников. Смещение электродов главных фокусирующих линз крайних прожечников при соосности центрального способствует разбросу фокусирующих напряжений между центральным и крайним прожеч-

* *Гейзер Е. С.* Разработка ЭОС для цветных кинескопов с планарным расположением прожечников и электростатическим самосвечением. — В кн.: Качество электронно-лучевых приборов. К.: Наук. думка, 1977.