

Р. М. РУДЫИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО ПРИБОРА НА ЭЦВМ

Одним из важнейших критериев качества фотограмметрических приборов является их точность, зависящая от постоянных параметров инструмента, таких как фокусное расстояние камеры, размер измеряемого снимка, высота и базис проектирования и т. д., а также от величины первичных ошибок, то есть от погрешностей изготовления и юстировки его звеньев и узлов.

Представим работу стереопроектора Романовского схематически следующим образом. На «вход» прибора поступают координаты контрольной сетки. Коррекционные устройства и проекторы определенным

координат. 3. Изменить инструментальную точность прибора при установлении новых допусков на юстировку его узлов и звеньев. 4. Проанализировать точность прибора после некоторых его конструктивных изменений, а именно: а) изменения габаритов прибора, постоянных l, F, Z и формата снимка; б) изменения направлений первых осей шарниров; в) изменения положения картинной плоскости прибора (негативное, позитивное).

Моделирование фотограмметрического прибора на ЭЦВМ представляет собой алгоритмизированное описание его оптических, динамических и кинематических характеристик. Так как оптические и динамические погрешности в СПР существенной роли не играют, то моделировались только его кинематические характеристики.

Стереопроектор можно представить как механизм с одним ведущим звеном (базисным устройством), имеющим три координаты, и четырьмя ведомыми звеньями (каретками аэроснимков и каретками объектива), имеющими по две координаты. Уравнения, определяющие приборные координаты точек модели в функции координат снимков, в общем виде запишутся

$$F_g(P_i, R_j, Q_k) = 0,$$

где g — число ведомых звеньев; P — координаты ведущих звеньев; i — количество координат ведущих звеньев; R — постоянные параметры прибора; j — количество постоянных параметров; Q — координаты ведомых звеньев; k — количество координат ведомых звеньев.

Решая уравнения для идеального прибора и для прибора с первичными ошибками, находим инструментальные погрешности в координатах модели. Первичные ошибки представляются случайными числами с законом распределения первичных ошибок и лежащих в границах соответствующих допусков.

Вычисление инструментальных погрешностей в координатах модели при одном случайном сочетании первичных ошибок называется реализацией. Совокупность реализаций является «моделью» того же числа построенных и обремененных первичными ошибками приборов.

Созданная нами математическая модель реализовалась на ЭЦВМ М-222. Программа составлена на языке АЛГОЛ-60 для транслятора ТА-2м. При этом для упрощения задачи моделировалась работа только одной камеры СПР. Было выполнено моделирование двух вариантов прибора с двумя различными допусками, один из которых используются на заводе, изготовляющем СПР, а другие рассчитаны автором (табл. 1). Для второго (проектируемого) варианта прибора использовались те же допуски на юстировку узлов, что и для существующего в настоящее время СПР. Постоянные параметры, используемые при моделировании, указаны ниже:

	I вариант	II вариант
Формат снимка	$180 \times 180 \text{ мм}$	$300 \times 300 \text{ мм}$
Углы наклона снимка	$\alpha = \omega = 2^\circ$	$\alpha = \omega = 2^\circ$
Фокусное расстояние камеры АФА	100 мм	100 мм
Фокусное расстояние камеры прибора	160 мм	160 мм
Постоянная прибора l	180 мм	300 мм
Высота проектирования	300 мм	500 мм

Нормально распределенные случайные числа с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 генерировались на ЭЦВМ. Затем они умножались на $1/3$ допусков для первичных ошибок. Полученное таким образом случайное сочетание случайных значений первичных ошибок использовалось для определения координат девяти точек модели, равномерно расположенных по плоскости снимка (координаты точек на снимке приведены в табл. 2). От вычисленных координат модели для прибора, обремененного первичными ошибками, вычитались соответствующие

образом трансформируют входную информацию и на «выходе» при помощи измерительной системы мы получаем координаты модели (рисунок). При этом для одной камеры прибора учитываются 45 первичных ошибок, перечисленных в табл. 1.

Проанализировать степень влияния на точность измеряемой модели ошибок каждого узла, подобрать наивыгоднейшие параметры прибора, оценить инструментальные погрешности и установить закон их распределения — задачи весьма сложные. Мы попытаемся решить некоторые из них методом статистических испытаний.

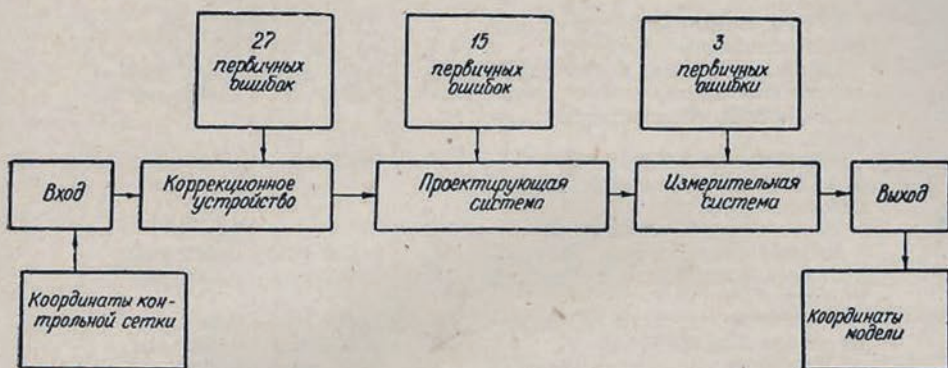


Схема действия первичных ошибок стереопроектора.

Установить инструментальную точность стереофотограмметрического прибора можно тремя методами: а) непосредственным исследованием прибора при помощи снимков-макетов или контрольных сеток; б) анализируя функциональную зависимость, связывающую «вход» и «выход» прибора; в) методом статистических испытаний.

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и свои недостатки. Непосредственное исследование приборов дает надежные результаты. Однако оно не всегда возможно иногда из-за отсутствия необходимых характеристик и точных значений параметров прибора, которые трудно фиксировать, а иногда из-за отсутствия самого прибора или его модификации, которая только проектируется.

Из анализа функциональной зависимости можно одним решением получить величину погрешности на «выходе» прибора. Тем не менее, если вместо первичных ошибок мы будем брать их допуски, результат будет занижен, так как все первичные ошибки при большом их количестве не могут одновременно получать наихудшие значения. Кроме того, установление строгой функциональной зависимости, связывающей «вход» и «выход» прибора, как правило, затруднительно, ибо первичные ошибки могут влиять друг на друга, то есть быть зависимыми, и их общее взаимодействие трудно выразить аналитически.

Метод статистических испытаний во многом похож на экспериментальный, но отличается от него тем, что не требует реальных измерений. Сравнивается идеальное решение задачи с решением, когда вводится влияние случайных величин, то есть первичных ошибок, которые могут быть с любыми функциями распределения.

В результате получают погрешности выходных величин и оценивают их. Процесс моделирования позволяет не только лучше оценить все приборы данного класса, использующие как общий, так и различные принципы работы, но и сравнить их по точности и надежности.

На наш взгляд, методом моделирования можно решать следующие задачи: 1. Установить точность измеряемых на приборе координат модели. 2. Определить функции распределения погрешностей измеряемых

координаты, найденные для идеального прибора. Получились искомые погрешности. Всего для каждой разновидности допусков для обоих вариантов прибора было выполнено по 200 реализаций.

Таблица 1

Первичные ошибки СПР

Ошибки	Ось	Допуски	
		заводские	рассчитанные
Погрешности в децентрации коррекционных механизмов	X	0,1 мм	0,1 мм
	Y	0,1 мм	0,1 мм
Непараллельность в начальном положении направляющего стержня и стержня коррекционной плоскости	X	0,0002 рад	0,0002 рад
	Y	0,0002 рад	0,0002 рад
Несовпадение в начальном положении центров шарниров коррекционного механизма	Z	0,004 мм	0,004 мм
Погрешность в установке l		0,4 мм	0,4 мм
Неперпендикулярность коррекционной плоскости к своему стержню	X	0,0002 рад	0,0002 рад
	Y	0,0002 рад	0,0002 рад
Отклонение вертикальной каретки от оси Z прибора	X	0,0007 рад	0,0007 рад
	Y	0,0007 рад	0,0007 рад
Первичные ошибки в нижнем шарнире направляющего стержня	δ_x	0,010 мм	0,320 мм
	δ_y	0,010 мм	0,140 мм
	δ_z	0,010 мм	0,070 мм
Первичные ошибки в нижнем шарнире стержня коррекционной плоскости	δ_x	0,010 мм	0,320 мм
	δ_y	0,010 мм	0,140 мм
	δ_z	0,010 мм	0,070 мм
Первичные ошибки в остальных шарнирах корректора	δ_x	0,010 мм	0,018 мм
	δ_y	0,010 мм	0,008 мм
	δ_t	0,010 мм	0,004 мм
	δ_x	0,010 мм	0,018 мм
	δ_y	0,010 мм	0,008 мм
	δ_t	0,010 мм	0,004 мм
	δ_x	0,010 мм	0,018 мм
	δ_y	0,010 мм	0,008 мм
	δ_t	0,010 мм	0,004 мм
Наклон каретки подвижного объектива	X	0,0002 рад	0,0002 рад
	Y	0,0002 рад	0,0002 рад
Погрешность в установке децентраций снимков	X	0,010 мм	0,02 мм
	Y	0,010 мм	0,02 мм
Первичные ошибки нижнего кардана	δ_x	0,010 мм	0,054 мм
	δ_y	0,010 мм	0,023 мм
	δ_t	0,010 мм	0,011 мм
Первичные ошибки среднего кардана	δ_x	0,010 мм	0,007 мм
	δ_y	0,010 мм	0,015 мм
	δ_t	0,010 мм	0,003 мм
Первичные ошибки верхнего кардана	δ_x	0,010 мм	0,010 мм
	δ_y	0,010 мм	0,023 мм
	δ_t	0,010 мм	0,005 мм
Наклон направляющих каретки аэроснимков	X	0,00007 рад	0,00007 рад
	Y	0,00007 рад	0,00007 рад
Наклон направляющих измерительной каретки	X	0,00007 рад	0,00007 рад
	Y	0,00007 рад	0,00007 рад
Неперпендикулярность направляющих x и y		0,00003 рад	0,00003 рад
Масштабные ошибки ходовых винтов	X	0,00003 мм	0,00003 мм
	Y	0,00003 мм	0,00003 мм

Результаты приведены в табл. 2. Затем вычислялись средние квадратические ошибки σ_x и σ_y в измеренных координатах X и Y. Кроме этого, для анализа функции распределения погрешностей в координатах измеряемых точек модели вычислялись центральные моменты 3-го и 4-го порядков. По ним были найдены значения асимметрии A и эксцесса ϵ .

Средние квадратические отклонения для асимметрии и эксцесса равны соответственно 0,17 и 0,34. Так как значения асимметрии и эксцесса не превышают утроенных значений их средних квадратических отклонений, то можно принять гипотезу о том, что погрешности на каждой измеряемой точке модели распределены по нормальному закону.

Применение рассчитанных допусков по сравнению с заводскими приводит к повышению инструментальной точности прибора примерно на 30%.

Точность «модели» прибора для обработки снимков размером 300×300 мм с параметрами, указанными выше, ниже, чем точность существующего стереопроектора. Это вызвано тем, что параметры второго варианта прибора, например фокусное расстояние, подобраны не совсем удачно.

Расчет оптимальных параметров проектируемого фотографического прибора можно успешно осуществить методом моделирования на ЭЦВМ.

ЛИТЕРАТУРА

Бусленко Н. П. Математическое моделирование производственных процессов. М., «Наука», 1965.

Работа поступила в редколлегию 24 декабря 1973 года. Рекомендована кафедрой аэрофотогеодезии Львовского политехнического института.
