

$$N_{\text{кв}} = \Delta_{\text{кв}} / (2\sqrt{3}S),$$

где $\Delta_{\text{кв}} = U_{\text{max}} / 2^N$ — интервал дискретизации выходного сигнала U пикселя; U_{max} — максимальный выходной сигнал пикселя; N — число разрядов АЦП.

Если интервал дискретизации, выраженный числом электронов, равен или меньше шума считывания $N_{\text{сч}}$, т.е. $\Delta_{\text{кв}}/S \leq N_{\text{сч}}$, то шумом квантования можно пренебречь, так как при этом $N_{\text{кв}} \leq N_{\text{сч}} / 12^{0,5}$.

При расчете результирующего значения $N_{\text{ш}}$ следует учитывать условия работы ОЭП, параметры и характеристики используемого конкретного МЭПИ, наблюдаемого объекта, а также фона. В некоторых случаях одними шумами можно пренебрегать по сравнению с другими шумами. Так, при слабом уровне освещенности МЭПИ и малом значении N_y отношение сигнал/шум μ определяется в основном тепловыми шумами N_T , возникающими при считывании зарядов, т.е. $\mu \approx N_c / N_T$. При большом времени накопления зарядов в этом случае иногда приходится учитывать дробовый шум и геометрический аддитивный шум. При средних значениях освещенности МЭПИ отношение сигнал/шум зависит в основном от фотонного шума N_f , равного корню квадратному из значения N_c . Поэтому значение μ в этом случае может приближенно оцениваться соотношением

$$\mu \approx N_c / N_f \approx N_c^{0,5}. \quad (9)$$

При высоких уровнях сигнала доминирует геометрический мультипликативный шум и отношение сигнал/шум в основном зависит именно от него. Поскольку значение μ пропорционально в этом случае N_c приближенно можно записать

$$\mu \approx N_c / N_{\text{гм}} = p^{-1}. \quad (10)$$

Условием преобладания геометрического мультипликативного шума над фотонным шумом сигнала является, как следует из формул (9) и (10), выполнение неравенства $N_c > p^{-2}$. Отметим также, что для охлаждаемых МЭПИ иногда при слабом полезном сигнале основным видом шума могут стать фотонные шумы, обусловленные излучением фона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов.— М.: Логос, 1999.
2. Проектирование оптико-электронных приборов/Ю.Б.Парвулюсов, С.А.Родионов, В.П.Солдатов и др.; Под ред. Ю.Г.Якушенкова. М.: Логос, 2000.
3. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов/Р.Дж. Киес, П.В. Крузе, Э.Г. Патли и др.; Под ред. Р.Дж. Киеса: Пер. с англ.— М.: Радио и связь, 1985.
4. Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Челибанов В.П. Приемники излучения. Санкт-Петербург: Папирус. 2003.
5. Мосягин Г.М., Немтинов В.Б., Лебедев Е.Н. Теория оптико-электронных систем.— М.: Машиностроение, 1990.
6. Fossun E. R CMOS digital cameras need new figures of merit. Laser Focus World. 1999, № 4.

Поступила 14 апреля 2005 г.

Рекомендована кафедрой ОЭП МИИГАиК.

УДК 528.5

Московский государственный университет
геодезии и картографии
Докторант *Н.Х.Голыгин*
Инженер *Н.В.Салуни*
Доцент *В.А.Шилин*

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В данной работе показаны пути повышения точности средств измерений в процессе эксплуатации, рассматриваются схема и метрологические характеристики разработанной образцовой установки.

Известно [1], что повышение точности измерительных преобразователей возможно двумя путями:

1) на основе методов предотвращения возникновения погрешностей: конструктивно-технологических и защитно-предохранительных;

2) на основе методов снижения уровня существующих погрешностей: коррекции и статистической минимизации погрешностей.

Первый путь реализуется при проектировании и изготовлении прибора предприятием-изготовителем.

Пользователем, при практическом применении измерительных приборов, повышение точности измерений возможно только при реализации методов коррекции и статистической минимизации погрешностей.

Коррекция, или функциональная минимизация, погрешностей измерительных приборов заключается в снижении их уровня после экспериментального выявления погрешностей (в процессе аттестации с помощью образцового преобразователя) и введения поправки в результат измерений. Метод коррекции применяется для уменьшения систематических погрешностей.

В МИИГАиК разрабатывается образцовая установка для определения распределения систематической погрешности преобразователей угловых перемещений в пределах диапазона измерений.

В данной установке параллельно применяются два образцовых преобразователя: в качестве первого используется 24-гранная призма с погрешностью не более 0,05 угл. сек, в качестве второго используется преобразователь фирмы «Хайденхайн» ROD-800 с погрешностью не более $\Delta_{\text{и}} = 0,43$ угл. сек. Применение ROD-800 с интерполятором позволяет уменьшить шаг квантования до 0,9 угл. сек и при этом автоматизировать процесс измерения.

Весь диапазон 360 угл. град с помощью призмы разбивается на ряд поддиапазонов $n = 360/N$, где $N = 24$ — число граней. С помощью призмы определяется погрешность ROD-800 в 24-х точках, которая в виде поправки Δx_{0i} вводится в память компьютера и ее значения учитываются в процессе обработки результатов измерений.

Коэффициент интерполяции

$$K_{\text{ин}} = \frac{T_x}{h_x} = 40,$$

где T_x — период растрового сопряжения; h_x — шаг квантования.

С помощью квадратурной логики шаг квантования уменьшается в четыре раза, а с помощью дополнительного штатного интерполятора уменьшается еще в десять раз. Таким образом, при

количестве штрихов растрового сопряжения $N = 36000$ период растрового сопряжения $T_x = 360^\circ / N = 36''$, а шаг квантования $h_x = T_x / K_{ин} = 0,9''$. Результирующая погрешность преобразования ROD-800 в статическом режиме не превысит значения, равного

$$\Delta_{рез} = 3\sqrt{\sigma_{ROD}^2 + \sigma_{ин}^2 + \sigma_{кв}^2 + \sigma_{доп}^2},$$

где $\sigma_{ROD} = \Delta_{ин} / 3$ — среднее квадратическое отклонение инструментальной погрешности ROD-800 при доверительной вероятности $P = 0,997$; $\sigma_{ин}$ — среднее квадратическое отклонение

погрешности интерполятора; $\sigma_{кв} = \frac{h_x}{2\sqrt{3}}$ — погрешность квантования; $\sigma_{доп} \approx 0,5''$ — сумма дополнительных неучтенных погрешностей.

Известно [2], что $\Delta_{ин} = 3\sigma_{ин} \leq 0,1h_x$, откуда $\sigma_{ин} \leq h_x / 30$.

Тогда без коррекции результирующая погрешность равна

$$\Delta_{рез} = 3\sqrt{\left(\frac{0,43''}{3}\right)^2 + \left(\frac{0,9''}{30}\right)^2 + \left(\frac{0,9''}{3,46}\right)^2 + 0,5''^2} = 1,8''.$$

С учетом коррекции на ЭВМ путем введения поправки Δ_{oi} результирующая погрешность равна $\Delta_{рез} = 0,97''$.

В данном случае доминирующее влияние на результирующую погрешность оказывает погрешность квантования. Ее уменьшение ограничено имеющимся интерполятором.

Функциональная схема установки для проверки угловых измерительных систем электронных тахеометров и теодолитов показана на рисунке.

Исследуемый прибор установлен на вращающемся столе, угол поворота которого контролируется призмой-многогранником.

Установка заданного угла осуществляется ЭВМ по команде от ROD-800 шаговым двигателем. Интерполяция при коррекции погрешности может осуществляться как в пределах полного оборота алидады на 360° , так и между аттестованными значениями углов многогранника. При обработке результатов могут быть применены методы кусочно-линейной аппроксимации, интерполяция сплайн-функциями, построение искусственной нейросети и др.