



УДК 531.745

Пожарский С.Г.

Государственное предприятие "Государственное Киевское конструкторское бюро "Луч".
Украина, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕКТОРНЫХ УГЛОМЕРНЫХ ШКАЛ

Анотація

У статті на фактичному матеріалі описаний алгоритм дослідження похибки виготовлення кутомірних шкал з діапазоном виміру менше 360°. Отримані результати дозволили провести аналіз якості технології й устаткування, використаного для виготовлення шкал.

Abstract

There is error research algorithm of goniometrical scales making with measurement range of less than 360° described at facts in this article. Analysis of quality of technology and equipment used for scale making is performed.

Секторные угломерные шкалы (шкалы с диапазоном измерения меньше 360°) часто используются в специальных угломерных устройствах. Эти устройства проходят первичную метрологическую аттестацию и периодическую калибровку в отделе Главного метролога. Основной метрологической задачей, стоящей перед метрологом, осуществляющим аттестацию и калибровку специальных угломерных устройств, является определение диапазона измерения и погрешности шкалы. Одной из составляющих общей погрешности, является погрешность изготовления.

Основные способы контроля шкал [1, 2] применимы только к круговым шкалам с диапазоном, равным 360° , либо требуют наличия образцовой шкалы. Для контроля секторных шкал можно использовать способы, изложенные в работах [3, 4]. Метод, лежащий в основе контроля секторных шкал можно определить как координатный, поскольку исходной информацией являются измеряемые координаты точек середины штрихов шкалы. Конструктивными особенностями секторных шкал, осложняющими решение метрологической задачи, являются отсутствие базовой цилиндрической поверхности и относительно большие допуски на размеры, определяющие радиальное положение штрихов шкалы. Исходя из этих особенностей оказывается невозможно однозначно определить центр шкалы, относительно которого можно вычислить или провести измерения угловых характеристик шкалы. Таким образом, неоднозначность начальных условий (положение центра шкалы) приводит к многозначности метрологических характеристик. Из этого следует, что для определения метрологических характеристик шкалы необходимо проводить исследование распределения угловых погрешностей штрихов шкалы в зависимости от положения центра шкалы.

Объектами исследования являлись специальные углоизмерительные устройства, предназначенные для настройки и проверки составляющих узлов и блоков беспилотных летательных аппаратов. В состав этих углоизмерительных устройств входит по 3 угломерных шкалы. Диапазоны измерения этих шкал — от 10° до 70° . В качестве исследуемой математической модели шкалы принято представление штрихов в виде отрезков прямых линий, проходящих через середины штрихов.

Методика проведения исследования

Измерения координат штрихов шкал выполнялось на универсальном измерительном микроскопе УИМ-23, имеющим встроенную систему координат с диапазоном измерения 100×200 мм, дискретность измерения 1 мкм и $30\times$ увеличение. Для каждого штриха шкалы определялись

координаты X и Y двух точек, лежащих на противоположных краях штриха. Полученные числовые значения результатов измерения обрабатывались по формулам аналитической геометрии, приведённым в работе [5]. Математическая обработка выполнялась по следующему алгоритму:

1. Вычислялись координаты точки середины каждого штриха.
2. По точкам трёх штрихов (лежащим в середине и по краям шкалы) определялись координаты первичного центра шкалы.
3. Относительно этого центра определялись угловые значения штрихов шкалы как углы между прямыми линиями, проходящими через точки середины штрихов и центр шкалы.
4. Определялась погрешность штриха как разность между полученным угловым значением и номинальным значением.
5. По полученным значениям погрешностей строился график зависимости погрешности штрихов от номинальных значений штрихов.

На этом заканчивается первый этап исследования. Этот этап иллюстрируется рисунком 1 на примере исследования градусной шкалы с диапазоном $\pm 35^\circ$. Из представленного графика видно, что максимальную погрешность имеет штрих минус 35° и эта погрешность равна минус $73'$.

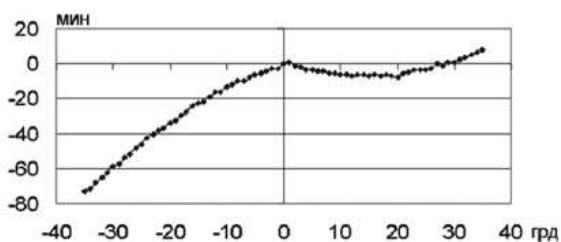


Рис. 1. Зависимость угловой погрешности штрихов от номинальных значений штрихов. I этап

Второй этап исследования заключается в изменении одной из координат (X или Y) центра шкалы до тех пор, пока экстремальное значение угловой погрешности шкалы не станет минимальным. Этот этап иллюстрируется рисунком 2, из которого видно, что экстремальное значение угловой погрешности уменьшилось в 3,5 раз и стало равно минус $21'$ для штрихов $+35$ и минус 35° . Это достигнуто изменением значения координаты Y центра шкалы на $0,047$ мм.

На третьем этапе изменением другой координаты (X) добиваемся минимизации экстремального значения угловой погрешности штрихов шкалы. Этот этап иллюстрируется рисунком 3, из которого видно, что экстремальное значение

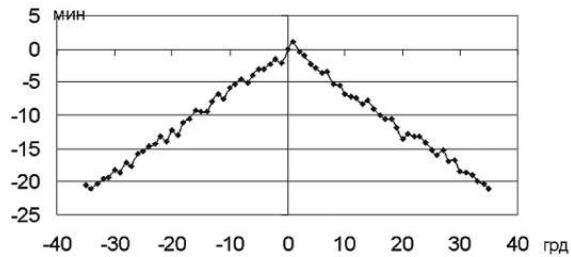


Рис. 2. Зависимость угловой погрешности штрихов от номинальных значений штрихов. II этап

угловой погрешности уменьшилось ещё в 12 раз и стало равно минус 1,7' для штриха минус 27° и +1,7' для штриха +1°, при этом изменение координаты X центра шкалы составило 0,738 мм. Расстояние от точки первичного центра шкалы до точки центра шкалы, полученной на третьем этапе составляет 0,739 мм, что свидетельствует о том, что первичный центр определён довольно близко от искомого. Надо заметить, как отмечено в [6], что точкой первичного центра может быть любая точка, лежащая со стороны вогнутой части шкалы.

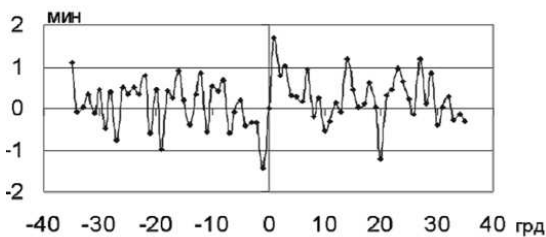


Рис. 3. Зависимость угловой погрешности штрихов от номинальных значений штрихов. III этап

Результаты исследования метрологических характеристик позволяют оценить технологию изготовления шкалы и качество оборудования, на котором была изготовлена исследуемая шкала. Анализируя рисунок 3, можно отметить, что погрешности штрихов +1° и минус 1° имеют разные знаки. Это позволяет сделать следующее заключение о технологии изготовления шкалы:

сначала был нанесён нулевой штрих, а затем все штрихи одной стороны (например, положительного знака), потом все штрихи другой стороны (отрицательного знака). При этом погрешность штрихов включает люфт поворотного стола, который может достигать 3' (сумма погрешностей штрихов +1° и минус 1°). Относительно большие погрешности штрихов +20°, минус 19° и минус 27° говорят о возможных погрешностях оборудования для этих углов поворота. Учитывая, что допустимая паспортная погрешность оборудования составляет 15", можно говорить о необходимости ремонта и отладки данного оборудования (станка, поворотного стола).

Подводя итог, можно сделать следующие заключения:

1. Рассмотренная методика исследования метрологических характеристик секторных шкал позволяет, изменяя положение центра шкалы путём математического моделирования, минимизировать расчётную погрешность шкалы.
2. Анализ распределения погрешностей штрихов шкалы позволяет оценить качество технологии изготовления шкал и качество работы оборудования, использованного при нанесении штрихов шкалы (станка и поворотного стола).

Литература

1. Эйдинов В.Я. Измерение углов в машиностроении. Государственное издательство стандартов. — Москва, 1963. — 414 с.
2. А. С. 1185077 СССР. Способ контроля шкал. В. Н. Бакулин и др. Оpubл. 15.10.85. Бюл. № 38.
3. Патент 73892 Украина. Спосіб визначення похибки кутової шкали. С. Г. Пожарський. Оpubл. 15.09.2005. Бюл. № 9.
4. Патент № 82736 Украина. Спосіб визначення похибки кутомірної шкали. С.Г. Пожарський. Оpubл. 12.05.2008. Бюл. №9.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — Москва: Изд. "Наука", 1968. — 720 с.
6. Пожарский С.Г. Определение погрешности изготовления угломерных шкал с диапазоном измерения меньше 360°. Український метрологічний журнал, 2006. — № 2 — С. 37–41.