

УДК 621.3.088

## АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*В.Л. Соломахо, С.С. Соколовский,*

*Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, г. Минск*

Одним из наиболее важных этапов при разработке методик выполнения измерений (МВИ) является оценивание погрешностей измерений, что необходимо при проектировании МВИ, сопоставлении конкурирующих вариантов МВИ, проведении метрологической экспертизы средств измерений (СИ) и МВИ и в некоторых других случаях [1–2]. Как правило, количественная оценка погрешности осуществляется экспериментальным путем в ходе проведения тех или иных метрологических процедур, например, метрологической аттестации. Такой подход усложняет проектирование как собственных МВИ, так и подбор или разработку средств измерений, включаемых в МВИ.

Предлагается метод аналитического расчета погрешности средств измерения, базирующийся на концепции метрологического моделирования, который в ряде случаев является единственно возможным путем оценивания. При разработке методики выполнения измерений возникает необходимость создания модели объекта измерений контролируемого параметра, представленного той или иной физической величиной.

Общий подход к решению задачи оценивания погрешностей средств измерений, на базе принятой концепции, заключается в моделировании (с использованием аналитических, графических либо графоаналитических методов) процессов преобразования измерительной информации в измерительной цепи исследуемого средства измерений. По сути, речь идет о моделировании механизмов проявления различных источников инструментальной составляющей погрешности измерений. Весь процесс такого моделирования и исследования погрешностей средства измерений представляет собой следующую последовательность процедур:

– подетальная декомпозиция конструкции средства измерения;

– моделирование средства измерения в виде иерархической информационной «пирамиды»;

– моделирование (графическая интерпретация) механизмов проявления источников первичных (элементарных) погрешностей средства измерений;

– аналитическое моделирование первичных (элементарных) погрешностей средства измерений (описание первичных погрешностей средства измерений в виде уравнений связи таких погрешностей с некоторыми влияющими параметрами средства измерений);

– количественная оценка первичных (элементарных) погрешностей средства измерений;

– комплексирование первичных (элементарных) погрешностей средства измерений и получение интегральной количественной оценки погрешности средства измерений.

Общая стратегия оценивания искомой комплексной инструментальной погрешности измерения предполагает:

– выделение источников элементарных (первичных) инструментальных погрешностей;

– графическую интерпретацию механизмов их возникновения;

– расчетные схемы и аналитические зависимости для их количественной оценки.

Проиллюстрируем данный подход на примере анализа источников инструментальной погрешности, возникающей при применении инструментальной головки специального средства измерения для контроля номинально сферических элементов деталей, изображенного на рис. 1.

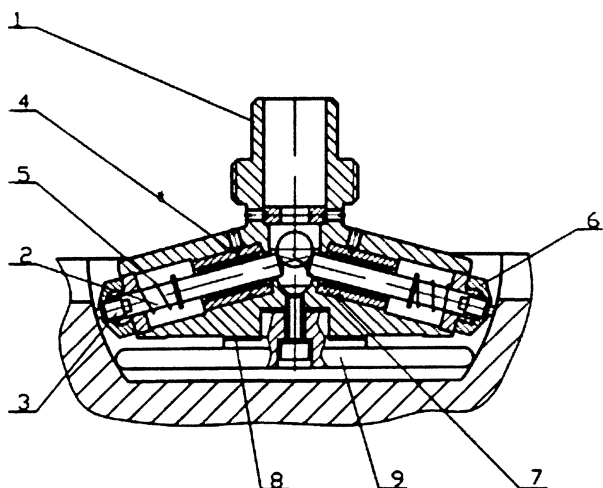


Рис. 1. Конструкция инструментальной головки специального средства измерения для контроля номинально сферических элементов деталей:

- 1 – корпус; 2 – стержень измерительный;
- 3 – наконечник измерительный;
- 4 – направляющие качения; 5 – пружина;
- 6 – колпачок; 7 – шарик передаточный; 8 – шайба юстировочная; 9 – мостик центрирующий

Конструкция головки рассматриваемого СИ состоит из корпуса 1, в котором установлены три подвижных, подпружиненных измерительных стержня 2, имеющих возможность осевого перемещения в точных направляющих качения 4, причём ось каждого измерительного стержня направлена по нормали к измеряемой поверхности, т.е. по её радиусу, а угол между проекциями осей измерительных стержней на плоскость, перпендикулярную оси СМСИ, равен  $120^\circ$ . Измерительные стержни в рассматриваемом СМСИ являются зависимыми щупами.

Измерения с помощью данного СИ осуществляются методом сравнения с мерой, для чего оно настраивается на ноль по специальной образцовой мере. После настройки устройство устанавливается на контролируемую деталь таким образом, чтобы его базировочное приспособление

плотно прилегало к контролируемой конической поверхности детали, а измерительные наконечники упирались в контролируемую поверхность. При отклонении радиуса окружности, образованной в определенном сечении конической поверхности, от номинального, измерительные наконечники переместятся в радиальном направлении. Возникающее перемещение измерительных наконечников посредством «плавающего» шарика передается измерительному стержню и преобразуется измерительным преобразователем перемещения.

Возникающие при использовании инструментальных головок данной конструкции источники первичных погрешностей приведены в табл. 1.

Пример графической интерпретации механизмов возникновения элементарных составляющих инструментальной погрешности измерений, расчетные схемы и аналитические зависимости для их количественной оценки представлен в табл. 2.

На основании полученных оценок элементарных (первичных) инструментальных погрешностей можно провести оценивание комплексной инструментальной погрешности средства измерения с использованием следующей аналитической модели:

$$\Delta_{\text{и}\Sigma} = 0,85 \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 \cdot \Delta_{\text{и}i}^2},$$

где  $C_i^2$  – коэффициент влияния  $i$ -той элементарной (первичной) инструментальной погрешности;

$\Delta_{\text{и}i}^2$  – количественная оценка  $i$ -той элементарной (первичной) погрешности.

Принятый алгоритм при расчете погрешности средств измерений, базирующееся на модели средства измерения, позволяет реализовать системный подход к исследованию источников инструментальной погрешности, что гарантирует выделение всех значимых элементарных (первичных) составляющих, облегчает их аналитическое описание и, на этой базе, количественное оценивание.

Табл. 1

Источники первичных инструментальных погрешностей

№ п/п	Конструктивный элемент	Источники первичных инструментальных погрешностей
1.	Шарик передаточный	Отклонение формы рабочей поверхности шарика
2.	Стержень измерительный	Отклонения от прямолинейности образующих номинально конических рабочих поверхностей измерительных стержней
3.		Отклонения от круглости поперечных сечений номинально конических рабочих поверхностей в измерительных стержнях
4.		Отклонения профиля продольного сечения направляющих наружных номинально цилиндрических поверхностей измерительных стержней (их бочкообразность)
5.		Отклонения от круглости направляющих наружных номинально цилиндрических поверхностей измерительных стержней (их овальность)
6.		Разноразмерность шариков в направляющих
7.	Тела качения шариковых направляющих	Отклонения формы рабочих поверхностей шариков в направляющих (отклонения их от сферичности)
8.	Направляющие втулки	Отклонения профиля продольного сечения внутренних рабочих номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок (их седлообразность)
9.		Отклонения от круглости внутренних рабочих номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок (их овальность)
10.		Отклонения от соосности наружной и внутренней номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок
11.		Зазоры в сопряжениях направляющих втулок с корпусом
	и др.	

Табл. 2

Аналитическая оценка элементарных инструментальных погрешностей

Источники элементарных (первичных) инструментальных погрешностей	Графическая интерпретация механизма возникновения составляющей инструментальной погрешности	Расчетная схема и аналитическое моделирование составляющей инструментальной погрешности
Отклонения от соосности наружной и внутренней номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок		$T_{\circ} = L_{\gamma} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{10}$ $\varphi_{10} = \operatorname{arctg} \frac{T_{\circ}}{L_{\gamma}}$ $\Delta_{\text{и}10} = \Delta_{\text{xt}} \left( \frac{1}{\cos \varphi_{10}} - 1 \right)$

**Литература**

1. Соколовский, С.С. Метрологическое моделирование как основа проектирования и реализации методик выполнения измерений / С.С. Соколовский, Д.В. Соломахо, Б.В. Цитович // «Приборы и методы измерений» / Минск: БНТУ, 2010. – №1. – С. 147–152
2. Соколовский, С.С. Классификация метрологических моделей // С.С. Соколовский, Д.В. Соломахо, Е.А. Герман // Наука – образованию, производству, экономике – 2010: материалы 8 МНТК / БНТУ. – Минск. – С. 341.