

Для задачи оптимизации допусков приспособления на верхнем уровне будет цель – минимизация стоимости при обеспечении требуемой точности. На среднем – критерии оценки (вклад в погрешность измерения, технологическая себестоимость). На нижнем – альтернативы (источники инструментальной погрешности измерения).

Метод основан на попарном сравнении. Эксперты сравнивают каждую пару деталей по каждому критерию, используя интуитивно понятную шкалу. Вычисляются весовые коэффициенты, которые преобразуют качественные суждения в количественные данные. Метод позволяет также учесть важность самих критериев. Для каждого критерия создается отдельная матрица, где сравниваются параметры, на основе которых можно вычислить «глобальный» приоритет для каждой

детали – взвешенную сумму ее локальных приоритетов по каждому критерию, умноженную на веса самих критериев.

Таким образом, путем попарного сопоставления можно получить коэффициенты относительной себестоимости для параметров различных уровней точности (калитетов, степеней точности) в экономически обоснованных пределах изготовления.

Литература

1. Снижение стоимости изделия путем оптимизации конструкторских размерных цепей / Ю. Б. Спесивцева [и др.] // Наука и техника. – 2025. – Т. 24, № 3. – С. 217–224.
2. Методы менеджмента качества. Квалиметрия: учеб.-метод. пособие для вузов / С. С. Соколовский [и др.]. – Мн.: БНТУ, 2009. – 165 с.

УДК 621.713

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Спесивцева Ю. Б., Кубрин Д. С., Лужинская А. И., Кисляков Н. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Представлена методика анализа и расчета контрольного приспособления для измерения полного радиального бисения, представленного схемой. Выявлены источники погрешности измерения, определена суммарная погрешность. На отклонения геометрических параметров, влияющих на точность измерения, назначены допуски разных уровней точности, определена технологическая себестоимость их реализации.

Ключевые слова: контрольное приспособление, расчет на точность, технологическая себестоимость.

CALCULATING THE ACCURACY AND COST OF INSPECTION FIXTURES FOR AN OPTIMIZATION MODEL

Spesivtseva Y. B., Kybrin D. S., Luzhinskaya A. I., Kiselyakov N. N.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. A method is presented for the analysis and calculation of a control fixture for measuring total radial runout, as shown in a diagram. Sources of measurement error are identified and the total error is determined. Tolerances of various precision levels are assigned to the deviations of geometric parameters that affect measurement accuracy, and the technological cost of their implementation is determined.

Keywords: inspection fixture, accuracy calculation, manufacturing cost.

Адрес для переписки: Спесивцева Ю. Б., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: spesivtseva@bntu.by

Наряду с универсальными средствами измерений при контроле отклонений формы и взаимного расположения поверхностей деталей используются контрольные приспособления. Точность измерения, которую обеспечивают эти приспособления, напрямую зависит от точности изготовления их собственных деталей. Для повышения эффективности проектирования контрольных приспособлений необходимо иметь формализованную методику расчета на точность на основе их схематического представления. В основу такого расчета должна быть положена целевая установка обеспечения требуемой точности измерений при минимальных затратах. Решение оптимизационной задачи имеет четыре основных этапа:

1. Подготовка исходных данных, состоящая в определении допускаемой инструментальной погрешности измерения путем вычленения ее из

общей допускаемой погрешности измерения на основе оценки возможных методических, субъективных погрешностей измерений, а также погрешностей условий.

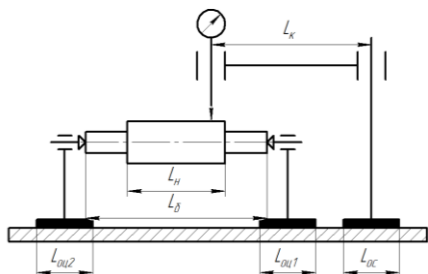
2. Выявление источников инструментальной погрешности измерения, оценка их влияния, изменение конструкции приспособления при необходимости.

3. Расчет себестоимости воспроизведения конструктивных элементов деталей приспособления, влияющих на точность измерения в зависимости от назначаемых допусков.

4. Оптимизация допусков с целью нахождения такого их сочетания, которое обеспечит требуемую точность измерения при минимальной общей себестоимости изготовления деталей.

В работе проиллюстрировано решение второго и третьего этапа задачи оптимизации допусков на

простейшем примере контрольного приспособления для измерения полного радиального биения (рисунок 1). Размеры деталей приспособления зависят от габаритов контролируемой детали. Расстояние между центрами должно быть достаточным для размещения самой длинной детали, а высота опор – для установки деталей максимального диаметра.



$L_{оц1}$ и $L_{оц2}$ – длины оснований стоек центров, мм;
 $L_{ос}$ – длина основания колонки, мм;
 $L_к$ – длина кронштейна, мм; $L_н$ – длина детали, мм;
 $L_б$ – расстояние между центрами, мм

Рисунок 1 – Схема измерения полного радиального биения

Источники погрешностей, обусловленные схемой приспособления:

1. Отклонение от соосности конической и цилиндрической поверхностей центров.
2. Зазоры между центрами и отверстиями стоек центров.
3. Разновысотность стоек центров.
4. Отклонение от плоскостности базовых поверхностей стоек центров.
5. Отклонение от плоскостности плиты.
6. Отклонение от плоскостности основания колонки для измерительной головки.
7. Отклонение от перпендикулярности колонки основанию.
8. Отклонение от прямолинейности оси колонки.
9. Отклонение профиля продольного сечения отверстий в кронштейне.
10. Отклонение от параллельности отверстий в кронштейне.

Параметры схемы приспособления приняты из расчета размеров детали, длиной 100 мм.

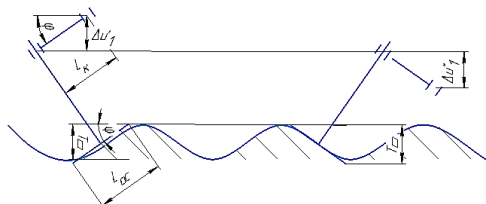


Рисунок 2 – Перекос колонки с измерительной головкой из-за отклонения от плоскостности плиты

Для анализа отдельных элементарных источников погрешностей использован геометрический метод, который предполагает построение

схем, иллюстрирующих как каждая погрешность (линейное смещение или перекося) влияет на результат измерения биения.

В качестве примера приведена схема и расчет влияния отклонения от плоскостности плиты на положение колонки с измерительной головкой (рисунок 2).

$$T_p = L_{ос} * \sin \varphi,$$

$$\Delta'_{и1} = L_к * \sin \varphi =$$

$$L_к * \sin(\arcsin \frac{T_p}{L_{ос}}) = L_к * \frac{T_p}{L_{ос}} = \frac{L_к}{L_{ос}} * T_p,$$

$$\Delta'_{и1} = \Delta'_{и2},$$

$$\Delta_{и1} = \sqrt{2} \frac{L_к}{L_{ос}} * T_p,$$

где T_p – допуск плоскостности рабочей поверхности плиты;

$\Delta'_{и1}$ – погрешность, связанная с подъемом измерительной головки из-за отклонения от плоскостности рабочей поверхности плиты;

$\Delta'_{и2}$ – погрешность, связанная с опусканием измерительной головки из-за отклонения от плоскостности рабочей поверхности плиты;

φ – угол отклонения кронштейна относительно номинального положения.

На отклонения геометрических параметров, которые были определены как источники погрешностей измерения, назначены допуски различных уровней точности.

Для оценки влияния точности изготовления деталей на их стоимость использована методика укрупненного расчета технологической себестоимости. Ниже приведены результаты получения зависимости стоимости обработки плиты от допуска плоскостности (таблица 1, рисунок 3).

В расчете технологической себестоимости учтены элементы деталей, которые непосредственно влияют на суммарную погрешность измерений: длина плиты и ее ширина.

Таблица 1 – Технологическая себестоимость реализации допуска плоскостности плиты

технологический процесс	основное время T_o (час)	стоимость С (у.е.)
Фрезеровать начерно	0,052	4,133
Фрезеровать начисто	0,074	5,905
Фрезеровать тонко	0,108	8,611
Шлифовать начерно	0,010	1,559
Шлифовать начисто	0,017	2,494
Шлифовать отделочно	0,027	3,990

Технологический процесс состоит из операций: фрезеровать начерно, фрезеровать начисто, фрезеровать тонко, шлифовать начерно, шлифовать начисто, шлифовать отделочно и позволяет получить отклонение от плоскостности плиты разной точности, от 120 мкм до 12 мкм по ГОСТ 24643.

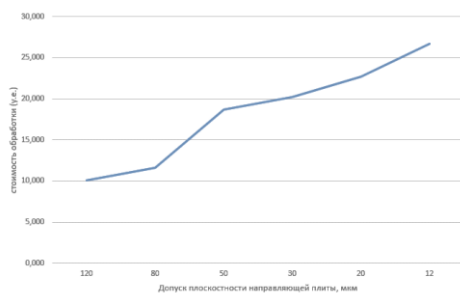


Рисунок 3 – Зависимость стоимости обработки плиты от допуска плоскостности

Фрезерование производится на вертикально фрезерном станке, шлифование – на плоскошлифовальном станке.

Для расчета основного машинного времени использовались типовые параметры обработки. Суммарная стоимость обработки составила 26,692 у.е.

Полученные модели оценки влияния отклонений параметров деталей на погрешность измерения и зависимости «уровень точности – стоимость» являются основой для оптимизационного расчета допусков, минимизирующего общую стоимость изготовления приспособления.

УДК 621.317

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ

Старовойтова В. Г., Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются современные научные и методические основы совершенствования метрологического контроля преобразователей термоэлектрических (ПТ) с позиций системного подхода. Проведен анализ типовых источников погрешностей, организационных и технических барьеров, детально рассмотрены пути повышения точности и достоверности измерений. Описана структура многоуровневой модели контроля, включающая классификацию средств измерений, разработку новых и адаптацию существующих методик калибровки и поверки, повышение требований к сопровождению документации и управлению данными, а также внедрение непрерывного профессионального обучения специалистов. Представлены рекомендации по реализации предложенной модели на различных этапах жизненного цикла ПТ, включая этапы проектирования, производства, эксплуатации и технического обслуживания. Рассмотрен опыт внедрения и типовые трудности при апробации новых решений в реальных промышленных условиях.

Ключевые слова: преобразователи термоэлектрические, метрологический контроль, калибровка, поверка, погрешность измерений, управление данными, повышение квалификации, промышленная валидация, системный подход.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL IMPROVEMENT OF THE METROLOGICAL CONTROL OF THERMOELECTRIC TRANSDUCERS

Starovoitova V. G., Serenkov P. S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The paper examines modern scientific and methodological foundations for improving the metrological control of thermoelectric transducers (TET) from a systems approach perspective. An analysis of typical sources of errors, as well as organizational and technical barriers, is provided, with detailed consideration of methods for enhancing measurement accuracy and reliability. The structure of a multi-level control model is described, which includes the classification of measuring instruments, the development and adaptation of calibration and verification procedures, enhanced requirements for documentation and data management, and the implementation of continuous professional training for specialists. Recommendations are given for implementing the proposed model at various stages of the TET life cycle, including design, production, operation, and technical maintenance. The experience of implementation and typical challenges encountered during the testing of new solutions in real industrial settings are discussed.

Keywords: thermoelectric transducers, metrological control, calibration, verification, measurement error, data management, qualification improvement, industrial validation, systems approach.

Адрес для переписки: Старовойтова В. Г., ул. К. Минина, 2, 103, г. Минск 220014, Республика Беларусь
e-mail: pavelserenkov@bntu.by

Актуальность и проблема:

Преобразователи термоэлектрические (ПТ) играют определяющую роль в системах промышленного контроля температуры, обеспечивая точность и непрерывность измерений на всех этапах технологических процессов. Современные направления

автоматизации, переход к концепции промышленного производства «Индустрии 4.0», рост требований к энергоэффективности и безопасности требуют от ПТ не только повышенной точности, но и полной прослеживаемости результатов измерений. Таким образом, актуальной задачей становится