

УДК 621.1.9

**А.А. Васильева, И.В. Подборнов, А.А. Шумков**

**A.A. Vasil`eva, I.V. Podbornov, A.A. Shumkov**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ УСЕЧЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

### **EXPERIMENTAL ANALYSIS OF ERRORS IN MEASURING TRUNCATED CYLINDRICAL SURFACE**

В настоящее время не в полной мере изучен вопрос возникновения погрешности измерения при контроле усеченных цилиндрических поверхностей. Целью работы является факторный анализ влияния стратегии измерения усеченных цилиндрических поверхностей на возникновение погрешности контроля. В результате проведенных экспериментов установлено, что при уменьшении угла раскрытия измеряемого сектора точность контроля истинного размера деталей снижается более чем на 40 %.

**Ключевые слова:** погрешность, радиус окружности, угол сектора, координатно-измерительная машина, точность, измерения.

At present, not fully explored occurrence of measurement error in the control of the truncated cylindrical surfaces. The aim is to measure the impact of factor analysis strategy truncated cylindrical surfaces to control the occurrence of errors. The experiments found that a decrease in the measured sector opening angle control accuracy of the true size of parts is reduced by more than 40 %.

**Keywords:** deviation, the radius of the circle, the angle of the sector, coordinate measurement machine, accuracy, measurement.

Благодаря высокой точности измерения и полной автоматизации процесса контроля координатно-измерительные машины (КИМ) находят широкое применение в современной промышленности.

Как показано в работах [1, 2], точность измерения на КИМ зависит от правильно разработанной методики измерения. При контроле геометрического объекта измерительная головка сканирует массив точек, после чего программное обеспечение КИМ аппроксимирует полученные данные и выдает значение измеренной величины. Чем больше количество измеренных точек на объекте, тем выше точность контроля.

На предприятиях машиностроительной отрасли присутствует ряд деталей, геометрическая форма которых представляет собой усеченные геометрические тела (рис. 1). В авиационной промышленности выделен класс высо-

коточных цилиндрических деталей с элементами с усеченной геометрией. Измерение массива точек в таком случае невозможно осуществлять по замкнутой окружности, в результате чего оператор КИМ разрабатывает методику контроля детали по секторам.



Рис. 1. Пример детали с усеченной геометрией

В результате измерения КИМ аппроксимирует данные, полученные с отдельных секторов измеренной детали, и выдает итоговое значение контролируемого параметра (диаметр, отклонение формы и др.). В настоящее время не в полной мере изучен вопрос возникновения погрешности измерения при контроле усеченных цилиндрических поверхностей [3–5].

При разработке стратегии измерения усеченных поверхностей оператор задается значениями угла раскрытия измеряемого сектора  $\beta$ , либо длины измеряемого участка  $l$ .

Теоретически вычислительная система КИМ осуществляет построение центра окружности по измеренному сектору путем пересечения перпендикуляров, выходящих из середин отрезков, соединяющих измеренные точки.

В работе [6] показан пример определения погрешности измерения окружности по минимальному радиусу раскрытия сектора. Показано, что влияние угла раскрытия измеряемого сектора влияет на точность контроля. Однако полученные данные носят описательный характер и не в полной мере учитывают реальные условия измерения усеченных деталей на КИМ.

Целью работы является факторный анализ влияния стратегии измерения усеченных цилиндрических поверхностей на возникновение погрешности контроля.

Планирование эксперимента позволяет варьировать факторы, влияющие на процесс контроля, и получать количественные оценки измеряемой величины.

В качестве измеряемого образца выбрана цилиндрическая деталь. Эскиз детали представлен на рис. 2.

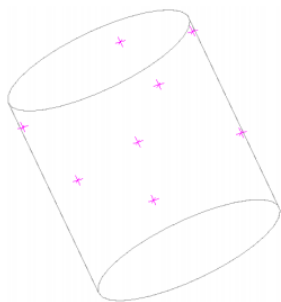


Рис. 2. Экспериментальная деталь

В качестве эталонного параметра выбран диаметр цилиндрической детали, измеренный по полной длине окружности (угол раскрытия сектора –  $360^\circ$ ). При проведении факторного эксперимента экспериментальная деталь измерялась по секторам, имитируя тем самым усеченный профиль поверхности. В качестве выходного параметра  $y$  при проведении экспериментов был выбран параметр – точность контроля. Точность контроля рассчитывалась как разность между значением эталонного диаметра (угол раскрытия сектора –  $360^\circ$ ) и значениями диаметра, полученными при варьируемых факторах.

В качестве варьируемых факторов при проведении экспериментов были выбраны:

- $z_1$  – угол раскрытия сектора (интервал варьирования – от  $50^\circ$  до  $160^\circ$ );
- $z_2$  – количество точек на измеряемом секторе (интервал варьирования – от 16 до 100 точек).

Каждый из факторов варьировался на двух уровнях.

Общий вид полученной регрессионной модели имеет вид

$$y = B_0 + B_1 z_1 + B_2 z_2 + B_3 z_1 z_2, \quad (1)$$

где  $B$  – коэффициенты при неизвестных.

Анализ значимости коэффициентов с применением критерия Стьюдента показал, что  $B_2$  и  $B_3$  не значимы и исключаются из уравнения.

Окончательный вид регрессионной модели взаимосвязи точности измерения и варьируемых факторов имеет вид

$$y = 62 + 4,5 z_1. \quad (2)$$

Анализ полученной модели показал, что точность измерения усеченных поверхностей зависит от угла раскрытия сектора. В условиях разработки плана контроля деталей с усеченной геометрией влияние количества точек незначительно. В результате проведенных экспериментов установлено, что при уменьшении угла раскрытия измеряемого сектора точность контроля истинного размера деталей снижается более чем на 40 %. Показано, что при проектировании стратегии измерения деталей с усеченной геометрией оператору КИМ необходимо обеспечить максимально возможный угол раскрытия измеряемого сектора.

### Список литературы

1. Абляз Т.Р., Халтурин О.А. Метод контроля конических резб для элементов бурильных колонн на координатно-измерительной машине // Вестник Пермского государственного технического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – № 1. – С. 85–91.

2. Вержбицкий В. Основы численных методов: учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 2005. – 840 с.

3. Абляз Т.Р., Васильева А.А. Исследование процесса измерения корпусных деталей на координатно-измерительной машине CarlZeissContura G2 // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2015. – Т. 17, № 3. – С. 32–40.

4. Брянкин С.Ю., Лысенко В.Г., Федосов К.Ф. Приоритетные направления метрологического обеспечения координатных методов измерений геометрических параметров деталей // 100 лет российскому подводному флоту: материалы науч.-практ. конф. – Северодвинск, 2006. – С. 115–119.

5. Применение математического моделирования для оценки точности координатных измерений на координатно-измерительных машинах / С.Ю. Брянкин, В.Г. Лысенко, С.С. Голубев, К.Ф. Федосов // 100 лет российскому подводному флоту: материалы науч.-практ. конф. – Северодвинск, 2006. – С. 45–49.

6. Иванов Д.А., Васильева А.А., Абляз Т.Р. Зависимость увеличения погрешности вычисления радиуса окружности от угла измеряемого сектора [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20551> (дата обращения: 19.11.2015).

Получено 07.12.2015

**Васильева Александра Алексеевна** – магистрант кафедры «Материалы, технология и конструирование машин», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [yunhojung@mail.ru](mailto:yunhojung@mail.ru).

**Подборнов Игорь Вячеславович** – кандидат технических наук, заместитель директора по производству, АО «Новомет-Пермь».

**Шумков Алексей Александрович** – инженер кафедры «Материалы, технология и конструирование машин», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [lowrider11-13-11@mail.ru](mailto:lowrider11-13-11@mail.ru).