

УДК 629.78

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ВНУТРЕННЕГО КОНТУРА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЛАЗЕРНЫМ ТРЕКЕРОМ

© 2018 О.С. Ефремкин, С.Н. Шапошников

АО «Ракетно – космический центр «Прогресс», г. Самара

Статья поступила в редакцию 30.11.2018

В данной статье рассматривается проблема создания эффективного метода определения отклонений внутреннего контура цилиндрических конструкций. Недостаточность данных, получаемых в процессе контроля сборок, с использованием шаблонов, не позволяет оценить в полной мере прецизионные параметры изделия. В настоящей работе разработан и опробован метод определения отклонений внутреннего контура цилиндрических конструкций измерительной системой на базе лазерного трекера. Для анализа данных использовано программное обеспечение Spatial Analyzer и Excel. Сделаны выводы о преимуществах метода определения отклонений лазерным трекером.

Ключевые слова: лазерный трекер, цилиндрическая конструкция, номинальное положение, сферический отражатель, контроль, геометрические параметры.

Одной из важнейших задач при производстве аэрокосмической техники является контроль геометрических параметров изделий, а вместе с тем, выявление возможных конструктивных и технологических недочетов на всех стадиях производства. Основную роль при выполнении данной задачи играет измерительная система для определения геометрических параметров, так как от выбора такой системы зависит достоверность полученных данных, скорость и, в наибольшей степени, точность измерения. Анализ существующих методов измерений показал, что контроль геометрии крупногабаритных сборок осуществляется как с применением специальных шаблонов, так и посредством лазерных измерительных систем [1].

Контроль геометрии крупногабаритных частей деталей и сборок, который проводят с помощью шаблонов, занимает значительную часть в измерениях авиационной и космической отраслях. Данная технология контроля отработана и не требует высокой квалификации рабочих, однако она имеет ряд существенных недостатков, так как на каждую группу элементов требуется индивидуальный заготовленный шаблон. Также данная технология не позволяет в полной мере оценить величину отклонения от требований, определенных в конструкторской документации. При каких-либо доработках в конструкции изделия необходимо заменять шаблон [2].

Наилучшие результаты при решении таких задач могут быть получены при использовании лазерных координатно-измерительных систем. Эти системы сочетают в себе высокую произво-

дительность, точность и информативность полученных результатов измерений.

Лазерная координатно-измерительная система на базе лазерного трекера АРІ была выбрана для контроля геометрии крупногабаритных изделий на предприятии АО «РКЦ «Прогресс» [3].

Принцип действия координатно-измерительной системы на базе лазерного трекера АРІ заключается в том, что трекер измеряет горизонтальный и вертикальный угол относительно своего положения в пространстве, а также дистанцию до отражателя. На рисунке 1 представлена принципиальная схема определения координат отражателя (x_0, y_0, z_0) по результатам замеров горизонтального (H_z) и вертикального (V) углов и расстояния (D) с помощью лазерного трекера [4].

В данном случае определяются координаты отражателя в полярной системе координат трекера, с началом системы координат в точке пересечения осей вращения прибора вокруг своей вертикальной оси и оси вращения подвижной головки. После выполнения измерений на 3 и более контрольные точки объекта с известными координатами, все остальные измерения могут быть автоматически пересчитаны уже в системе координат объекта.

Из рисунка 1 выведем формулы для определения координат отражателя по расстоянию и двум углам:

$$\begin{aligned}x_0 &= D * \cos H_z; \\y_0 &= D * \cos(90^\circ - H_z); \\z_0 &= D * \cos V;\end{aligned}$$

Точность координатно-измерительной системы составляет $5xL$ мкм, где L – расстояние от измерительной системы до объекта в метрах [5].

Объектом измерения является крупногабаритная сборка, представляющая собой цилин-

Ефремкин Олег Сергеевич, начальник группы.

E-mail: olegef1@rambler.ru

Шапошников Сергей Николаевич, ведущий инженер-конструктор. E-mail: serg9ff@mail.ru

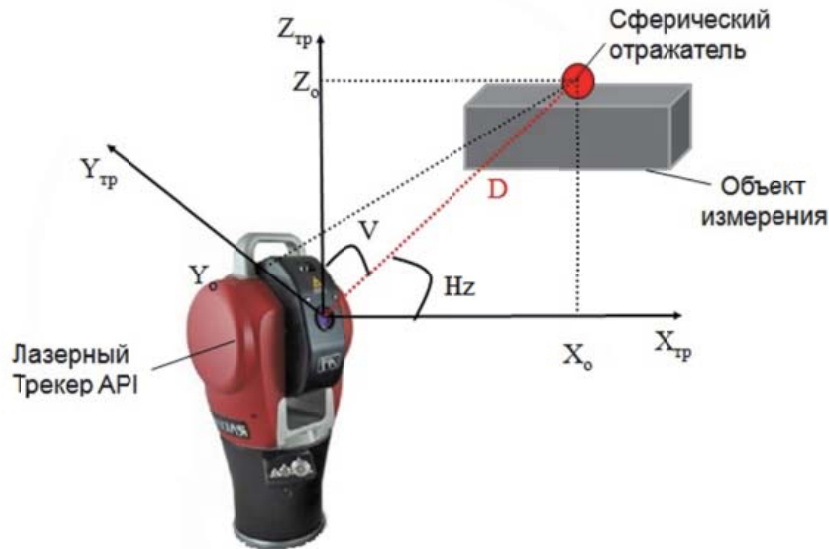


Рис. 1. Принципиальная схема определения координат отражателя в пространстве

дрическую обечайку (рисунок 2) диаметром 4100 мм, высотой 1560 мм и с толщиной 24 мм, свариваемая из трёх сегментов. Масса объекта составляет не более 110 кг.

Точность координатно-измерительной системы составляет $5 \times L$ мкм, при том, что точность определения деформаций в каждой контрольной точке должна быть не хуже 50 мкм. Система полностью соответствует заданным требованиям.

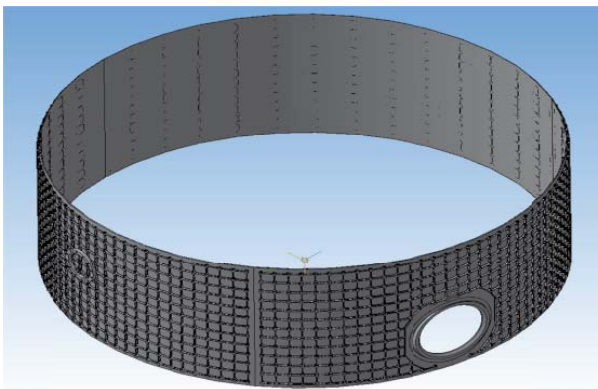


Рис. 2. Объект испытаний

Испытания по проверке цилиндрической обечайки на отклонение внутреннего контура от математической модели проводятся в следующей последовательности:

- на поверхности обечайки были измерены точки в зонах от $1,5^\circ \dots 358,5^\circ$ с шагом в 3° . По 9 точек на каждом градусном ряду (рисунок 3);

- для определения отклонения измеренных точек Т-контура в программном обеспечении Spatial Analyzer был построен цилиндр диаметром 4100 мм;

- ось математической модели обечайки была совмещена с осью цилиндра, построенного в программном обеспечении Spatial Analyzer по

измеренным точкам Т-контура обечайки;

- было произведено сравнение измеренных контрольных точек с поверхностью математической модели.

Допустимое отклонение объекта от теоретического контура составляет ± 3 мм.

Отклонения всех измеренных контрольных точек от математической модели по нормали к поверхности составили:

Максимальная величина внутреннего отклонений: -7.009 мм.

Максимальная величина наружного отклонения: $+3.739$ мм.

Положительные значения отклонений – это отклонения измеренных точек по нормали к поверхности математической модели в наружную сторону.

Отрицательные значения отклонений – это отклонения измеренных точек по нормали к поверхности математической модели во внутреннюю сторону.

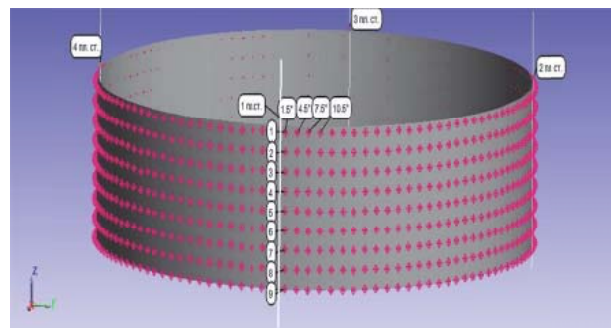


Рис. 3. Схема расположение плоскостей стабилизации и рядов измеренных точек

На рисунке 9 приведен график отклонения измеренных точек от поверхности математической модели. На рисунках 5-8 показаны векторные схемы отклонений (на цветовой шкале

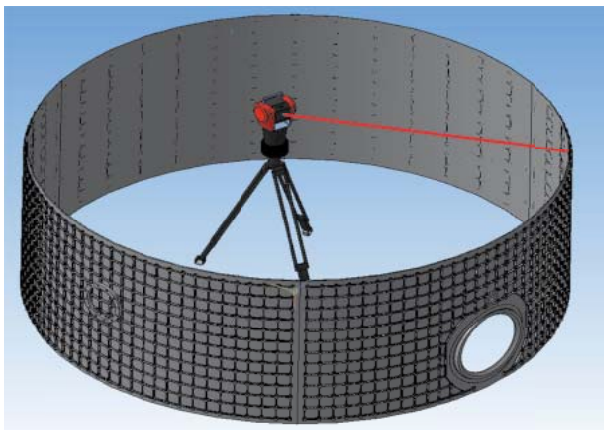


Рис. 4. Схема проведения измерений

справа – значения максимальных отрицательных и положительных отклонений). На рисунке 10 обозначены точки на объекте, выходящие за границы допуска.

Таким образом, применяя данную методику определения отклонений внутреннего контура, при использовании комплекта лазерной измерительной системы, определены координаты точек на поверхности объекта и проведен анализ, построена модель цилиндрической конструкции по измеренным точкам, на порядок была повышена точность измерения конструкции изделия и скорость ее обработки. Полученные результаты отклонений конструкции от ее математической модели дали представление о геометрических

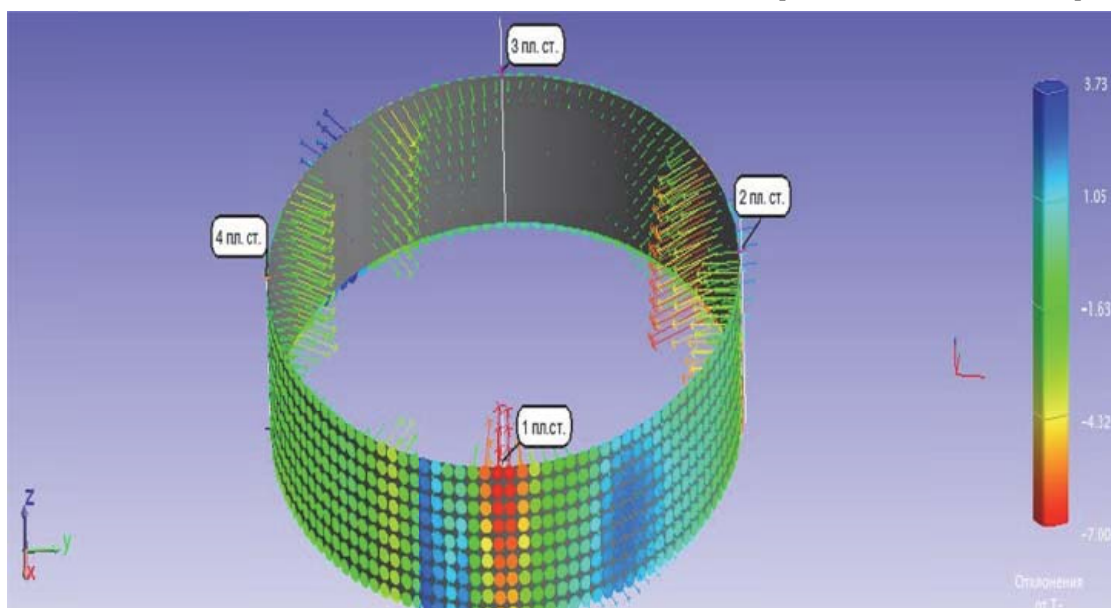


Рис. 5. Векторные отклонения измеренных контрольных точек от математической модели, вид от 1 пл.ст. и 3 пл.ст.

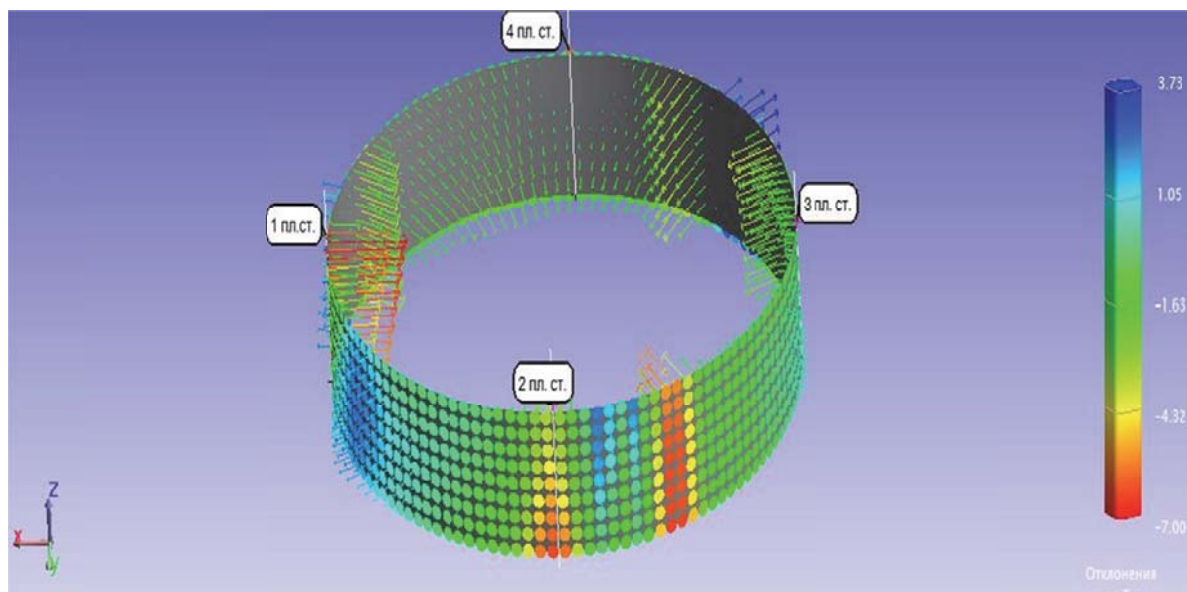


Рис. 6. Векторные отклонения измеренных контрольных точек от математической модели, вид от 2 пл.ст. и 4 пл.ст.

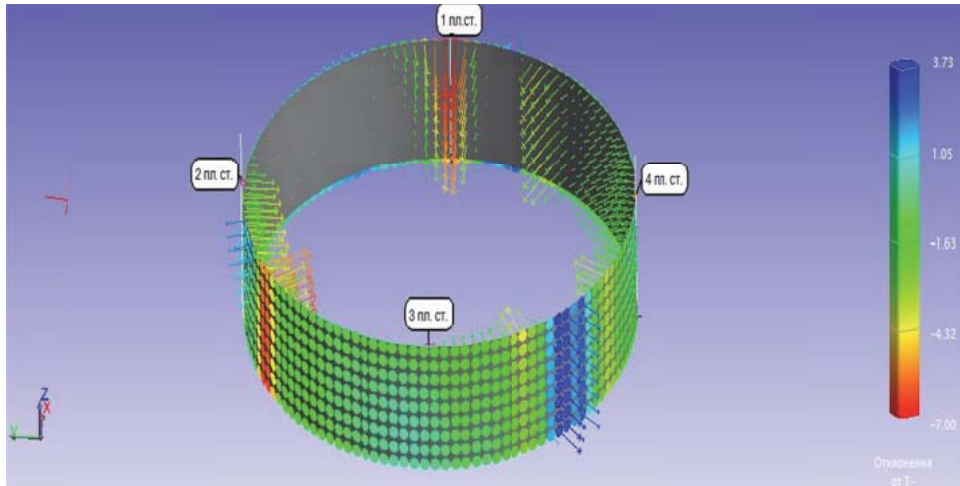


Рис. 7. Векторные отклонения измеренных контрольных точек от математической модели, вид от 3 пл.ст. и 1 пл.ст.

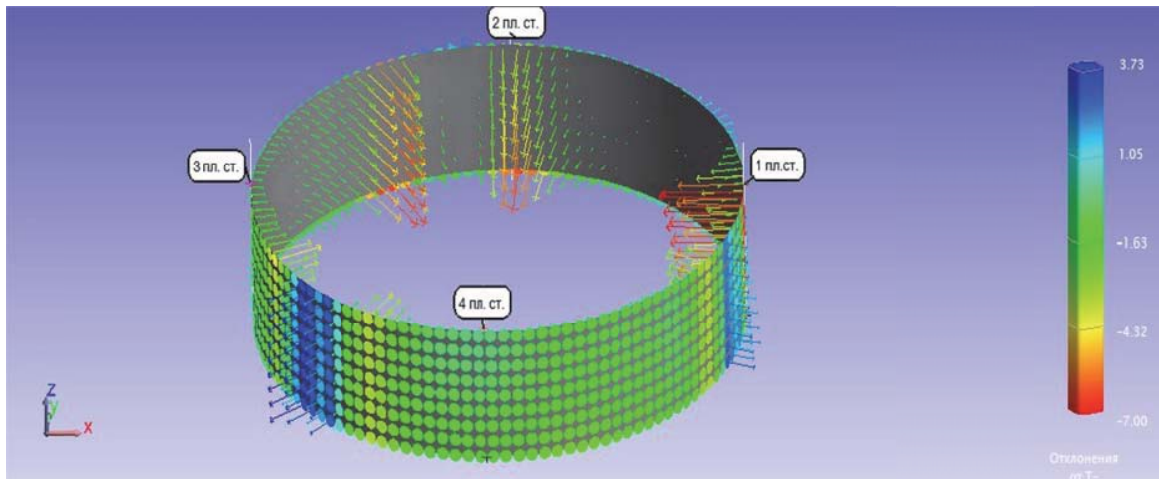


Рис. 8. Векторные отклонения измеренных контрольных точек от математической модели, вид от 4 пл.ст. и 2 пл.ст.

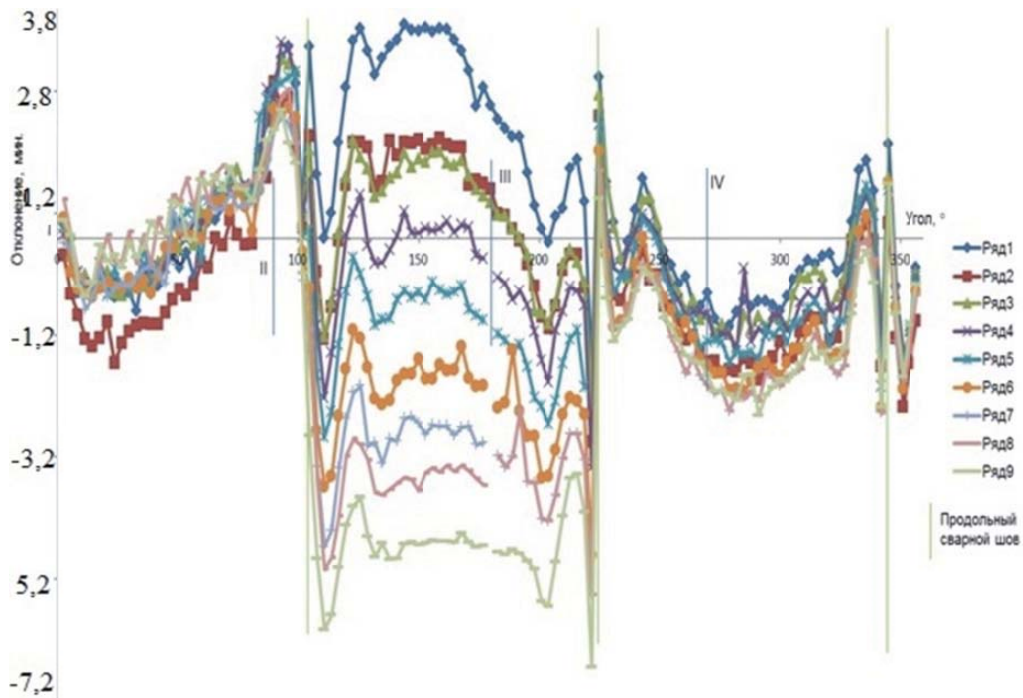


Рис. 9. График отклонения измеренных точек от поверхности математической модели

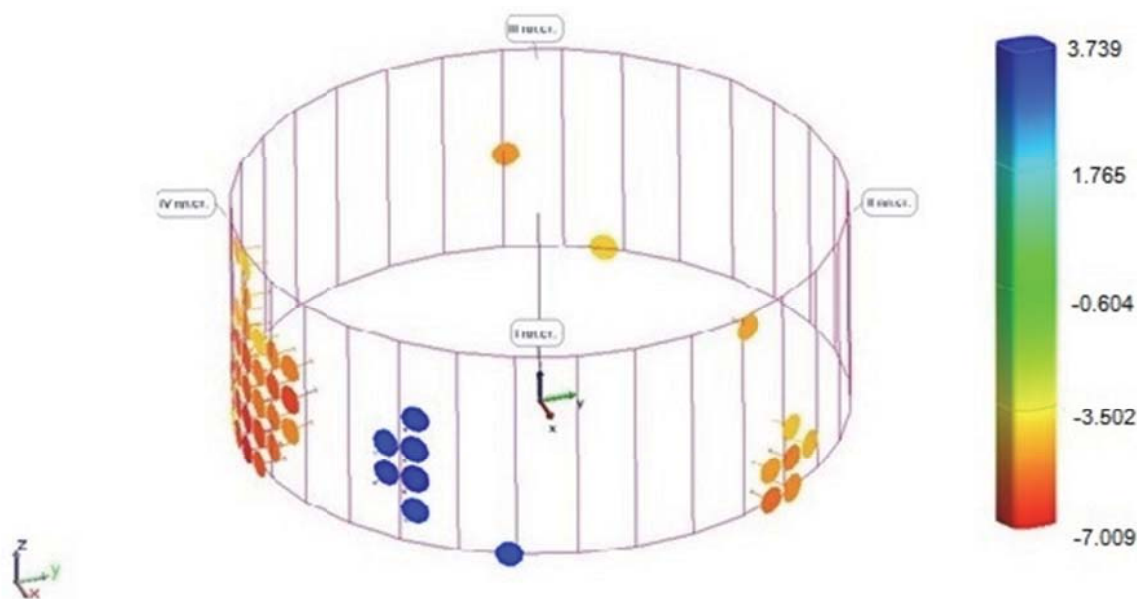


Рис. 10. Векторные отклонения измеренных контрольных точек объекта от математической модели. Показаны точки вне допуска

параметрах изготовленного объекта. Приведен график фактических отклонений точек объекта от математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каракулев, Ю.А. Измерение отклонений от соосности деталей в регулировочных клапанах турбин [Текст] / Ю.А. Каракулев. // Изв. Вузов. Приборостроение. – 2007. – №4. – С. 27 – 30.
2. Космическое аппаратостроение: научно-техни-

ческие исследования и практические разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» [Текст] / А.Н. Кирилин, Г.П. Аншаков, Р.Н. Ахметов [и др.] // Самара: АГНИ, 2011. – 280 с.

3. Демкин, В.Н. Лазерные технологии при измерении геометрии поверхности сложной формы (обзор) [Текст] / В.Н. Демкин, В.Е. Привалов. // Вестн. СПбО АИН. Вып.5. – СПб.: СПбГПУ, 2008. – С. 138 – 187.
4. Якунин, В.В. Системы лазерные координатно-измерительные API Tracker 3 [Текст] / В.В. Якунин, Д.Г. Викорук. // Вестн. Метролога. Вып. 2. - СПб, 2009. – С. 13 – 15.

DETERMINATION OF DEVIATIONS OF THE INTERNAL CONTOUR OF CYLINDRICAL STRUCTURES BY A LASER TRACKER

© 2018 O.S. Efremkin, S.N. Shaposhnikov

JSC SRC «Progress», Samara

This article discusses the problem of creating an effective method for determining the deviations of the internal contour of cylindrical structures. The lack of data obtained in the process of controlling assemblies using templates does not allow one to fully evaluate the precise parameters of the product. In this paper, we developed and tested a method for determining the deviations of the internal contour of cylindrical structures with a measuring system based on a laser tracker. For data analysis, Spatial Analyzer and Excel software was used. Conclusions about the advantages of the method of determining the deviations of the laser tracker.

Keywords: laser tracker, cylindrical design, nominal position, spherical reflector, control, geometrical parameters.