

**НАПРАВЛЕНИЕ**  
**«ДИНАМИКА И ВИБРОАКУСТИКА» /**  
**«DYNAMICS AND VIBROACOUSTICS»**

УДК 621.373.876

**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МНОГОПОЗИЦИОННОГО КОНТРОЛЯ  
КРУПНОГАБАРИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ С УЧЕТОМ ТОЧНОСТИ  
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕРЕНИЙ**

Сазонникова Н.А., Уклеин Р.В.

Самарский университет, г. Самара, [nasazonnikova@yandex.ru](mailto:nasazonnikova@yandex.ru)

*Ключевые слова: лазерный трекер, многопозиционный контроль, крупногабаритная конструкция, неопределенность измерений.*

Одной из важнейших задач при производстве изделий аэрокосмической техники является контроль их геометрических параметров изделий в соответствии с требованиями конструкторской документации. Возможности проведения контроля в значительной степени от применяемых средств измерений, их точности и уровня автоматизации. В настоящее время все более широкое распространение получают измерительные средства цифрового автоматизированного контроля, такие, как лазерные трекеры и лазерные радары. Данные средства измерения позволяют проводить контроль в автоматизированном режиме и обрабатывать результаты измерений с помощью специализированных программных пакетов.

В том случае, когда не удастся провести контроль геометрических параметров крупногабаритного изделия с одной стоянки лазерного трекера, применяется многопозиционный контроль. В этом случае проводится определение координат контролируемых точек двумя или несколькими лазерными трекерами или проводится последовательное измерение координат заданных точек при установке лазерного трекера сначала на одной стоянке, затем – на другой. Для привязки результатов измерений с разных стоянок лазерного трекера необходимо создавать сеть опорных точек, координаты которых контролируются с разных стоянок трекера. В этом случае на точность измерений оказывают существенное влияние число опорных точек, их расположение относительно объекта контроля и стоянок лазерного трекера, а также метод привязки систем координат, соответствующих разным стоянкам лазерного трекера. Результирующая погрешность, обусловленная влиянием опорной сети, включает две составляющие: погрешность определения координат опорных точек и погрешность привязки систем координат.

В данной работе рассматривается контроль геометрических параметров крупногабаритного бака с системой отверстий. Корпус бака установлен в горизонтальном положении на монтажно-стыковочных тележках. Указанные опоры обеспечивают возможность прокрутки бака. Необходимо определить отклонение от прямолинейности образующей цилиндрической части корпуса бака, а также расположение сети отверстий относительно образующей. При проведении измерений с поворотом бака относительно горизонтальной оси возникает погрешность измерений, связанная с изменением его расположения в опорах, а также относительно опорной сети и стоянок лазерного трекера. Поэтому возникает задача определения оптимальной конфигурации опорной сети, а также учета неопределенности измерений, вносимой расположения бака в опорах.

Для определения ориентации бака после поворота в опорах, также определения положения его оси вращения контролируются по четыре точки, расположенные по окружности, на каждом днище бака. Погрешность измерений, связанная с локализацией объекта контроля в опорах, может превышать инструментальную погрешность средства измерений.

В работе построена математическая модель измерительной системы для двухпозиционного контроля крупногабаритного бака с учетом погрешности его

позиционирования в опорах, позволяющая оценить ошибки трансформационной матрицы в зависимости от конфигурации сети опорных точек, а также оценить вклад неточности установки бака в опорах на результирующую погрешность измерений.

Суммарная неопределенность измерений состоит из трех составляющих: ошибка измерений координат контролируемых и опорных точек, координат точек, ошибка трансформации координат в обобщенную систему координат и ошибка, определяемая положением бака относительно опорной сети и стоянок трекеров.

Ошибка трансформационной матрицы определяется выражением:

$$RE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i - (Rx_i + T)]^2, \quad (1)$$

где  $RE$  – ошибка трансформационной матрицы,  $N$  – число точек опорной сети,  $x_i$  – гкоордината точки опорной сети, и меренная с помощью лазерного трекера,  $y_i$  – номинальное значение координаты точки опорной сети в обобщенной системе координат,  $R$  – ротационная матрица и  $T$  – вектор сдвига.

Оптимальной будет такая сеть опорных точек, для которой ошибка трансформационной матрицы должна быть минимальной.

Разработанная математическая модель будет использована для имитационного моделирования неопределенности измерений в зависимости от числа, расположения точек опорной сети, а также расположения объекта контроля относительно опорной сети и стоянок лазерных трекеров.

Проведены экспериментальные исследования по оценке геометрических параметров крупногабаритного бака с использованием двухпозиционной системы контроля на базе лазерного трекера без проведения большого объема подготовительных операций по монтажу схемы испытаний в специальном стапеле. При этом снижается длительность и трудоемкость работ, а также значительно уменьшается объем изготавливаемой испытательной оснастки.

#### **Сведения об авторах**

Сазонникова Н.А., доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок [nasazonnikova@yandex.ru](mailto:nasazonnikova@yandex.ru). Область научных интересов: лазерные информационно-измерительные системы.

Уклеин Р.В., аспирант кафедры автоматических систем энергетических установок. Область научных интересов: лазерные автоматизированные измерительные системы для контроля крупногабаритных конструкций.

### **OPTIMIZATION OF A LARGE-SCALE CONSTRUCTION MULTIPLE-POSITION CONTROL SYSTEM TAKING INTO ACCURATE THE CONTROL OBJECT POSITIONING ACCURACY DURING MEASUREMENTS**

Sazonnikova N.A., Uklein R.V.

Samara University, Samara, Russia, [nasazonnikova@yandex.ru](mailto:nasazonnikova@yandex.ru)

*Keywords: laser tracker, multiple station measurement, large-scale construction, measurement uncertainty.*

In this paper a mathematical model of the measuring system for two-position control of a large-size shell is constructed. This model taking into account the inaccuracy of its positioning in the assembly pillars, which allows estimating the uncertainty of the transformation matrix depending on the configuration of the enhanced reference system, as well as estimating the contribution of the inaccuracy of the shell installation in the pillars to the resulting measurement uncertainty.