

УДК 514.851

## АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ РЕАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ДЕТАЛЕЙ НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

**Кашуба Леонид Анатольевич**

*Кандидат технических наук, доцент Института системного анализа и управления;  
ГООУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: leonid-ak@mail.ru.*

*Геометрия номинальных элементов представлена в номинальной системе координат проекта. Измеренная с помощью координатно-измерительных машин в системе координат системы измерения реальная геометрия элементов отличается от номинальной геометрии по форме и расположению. В статье представлен алгоритм обработки измерительной информации для определения отклонений формы и расположения пространственных реальных элементов детали.*

Ключевые слова: номинальный элемент, реальный элемент, номинальная система координат, система координат системы измерения, отклонение формы, отклонение расположения, погрешности формы и расположения.

## ALGORITHM OF PROCESSING OF INFORMATION OBTAINED IN THE MEASUREMENT OF THE REAL GEOMETRY OF THE PARTS OF THE COORDINATE-MEASURING MACHINES

**Kashuba Leonid**

*Candidate of Science in Engineering, associate professor of Institute of system analysis and management;  
Dubna International University of Nature, Society and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: leonid-ak@mail.ru.*

*The geometry of the nominal elements are presented in nominal coordinate system of the project. The measured using the coordinate-measuring machines in the system of coordinates of the measurement system real geometry of the elements differs from the nominal geometry in the form and location. Is presented in the article the algorithm of processing of the measuring information to determine the deviations of the shape and location of spatial actual elements of the details.*

Keywords: Nominal element, real element, nominal system of coordinates, system of coordinates of system of measurement, form deviation, deviation of an arrangement, form and arrangement error.

### **Введение**

Геометрия детали в системе конструкторской документации задаётся в номинальной системе координат проекта детали *номинальными поверхностями*<sup>1</sup>. Пересекаясь, две поверхности образуют линии пересечения, а три – точку пересечения. Поверхности, линии и точки пересечения поверхностей в стандарте ГОСТ 24642-81 [1] называют элементами. В предыдущей статье [2] показано, что геометрию детали и реальных поверхностей<sup>2</sup> детали можно представить только в системе координат системы измерения.

В соответствии с [1] отклонение формы реальных поверхностей деталей определяется в системе координат системы измерения координатно-измерительных машин (КИМ) по расстоянию точек ре-

<sup>1</sup> Номинальная поверхность – идеальная поверхность без учёта отклонений формы и расположения в номинальной системе координат проекта.

<sup>2</sup> Реальная поверхность – поверхность с учётом отклонений формы и расположения в системе координат системы измерения.

альных поверхностей от точек номинальных поверхностей, представленных условно номинальными поверхностями в системе координат проекта детали. Поэтому первой и главной задачей является однозначное определение положения номинальной системы координат каждой поверхности с номинальной геометрией поверхности в системе координат системы измерения.

В терминах стандарта [1] реальную геометрию поверхностей представляют прилегающими элементами, но определёнными по другим правилам, чем это представлено в стандарте.

Эти правила заключаются в следующем

1. Для безусловной однозначности результата определения отклонения формы реальной поверхности от формы номинальной поверхности необходимо использовать принцип минимизации суммы квадратов отклонения точек реальной поверхности от близлежащих точек отсчётной поверхности, поскольку, представив реальную поверхность конечным множеством точек, сумма квадратов отклонений будет также конечна и поэтому однозначна.

2. Отсчётным элементом для определения положения номинальной поверхности с нулевой кривизной (плоскость) в системе координат системы измерения является сама номинальная поверхность. Её положение в системе координат системы измерения определяется по минимуму суммы квадратов отклонений точек реальной поверхности от отсчётной. Искомыми параметрами положения отсчётного элемента и номинальной плоскости в системе координат системы измерения являются точка, принадлежащая искомой номинальной плоскости, и направление нормали к этой плоскости.

3. Для определения положения номинальной поверхности с кривизной в системе координат системы измерения в качестве отсчётной поверхности следует использовать эквидистанту<sup>3</sup> к номинальной поверхности детали. Эквидистанту к номинальной поверхности строят в системе координат проекта номинальной поверхности. Положение системы координат номинальной поверхности в системе координат системы измерения однозначно определяется положением эквидистанты к реальной поверхности. Изменяя величину эквидистанты и положение номинальной системы координат номинального элемента в системе координат системы измерения, определим минимальную величину эквидистанты, которой соответствует наименьший из возможных минимум суммы квадратов отклонений точек реальной поверхности от эквидистанты минимальной величины. Этой минимальной величине эквидистанты соответствует положение системы координат номинальной поверхности в системе координат системы измерения. Эта система координат будет системой координат реальной поверхности.

4. Отклонение формы каждой реальной поверхности определяется по нормали к номинальной поверхности при определённом (найденном) положении номинальной системы координат поверхности в системе координат системы измерения.

5. В системе координат каждой номинальной поверхности, помещённой в систему координат системы измерения, можно построить две эквидистанты к номинальной поверхности, касающиеся точек, наиболее и наименее удалённых от номинальной поверхности. Границы реальных поверхностей детали в терминах номинальных поверхностей определяются прилегающими эквидистантами к номинальным поверхностям по точкам реальных поверхностей, наиболее удалённым наружу от материала детали.

6. Положение систем координат номинальных поверхностей в системе координат системы измерения определяет взаимное расположение реальных поверхностей. Для определения параметров взаимного расположения систем координат реальных поверхностей необходимо определить начало отсчёта – базу<sup>4</sup>. Выбрав произвольную систему координат или систему координат одной из поверхностей в качестве базы, угловые и линейные параметры всех остальных систем координат реальных поверхностей в системе координат системы измерения определяют их относительное расположение. Сравнив это расположение, полученное в системе координат системы измерения, с аналогичным расположением в системе координат проекта получим погрешности расположения реальных поверхностей детали.

При соблюдении правил привязки номинальной системы координат номинальных поверхностей к точкам реальных поверхностей в системе координат системы измерения через элемент, эквиди-

<sup>3</sup> Эквидистанта – (лат. *aequidistans* – равноудалённый) геометрическое место точек, удалённых от данной плоской кривой или поверхности на данное расстояние в заданном направлении (наружу или внутрь).

<sup>4</sup> База – система координат для определения координат всех элементов геометрии детали.

стантный номинальному, реальная геометрия элементов может быть представлена прилегающими эквидистантными элементами, находящимися вне материала детали, а системы координат реальных элементов могут быть отождествлены с системами координат эквидистантных элементов, прилегающих к реальным элементам.

Из проведенного анализа статьи [2] следует:

1. Отклонение формы реального элемента от номинальной имеет две компоненты:

- эквидистантное смещение относительно номинальной поверхности;
- искривление номинальной поверхности, аналогичное по смыслу волнистости и шероховатости.

2. Отклонение расположения системы координат реального элемента от его номинального расположения в системе координат элемента, принятого за базу, также имеет две компоненты:

- смещение системы координат реального элемента относительно системы координат номинального элемента,
- поворот системы координат реального элемента относительно системы координат номинального элемента.

Разработанная система представления реальной геометрии детали приемлема для любых форм номинальных элементов, ограничивающих объем деталей.

Выявленные геометрические параметры описания реальной геометрии деталей позволили наметить схему построения алгоритма обработки измерительной информации о геометрии детали, полученной с помощью координатно-измерительных машин.

## **Алгоритм обработки измерительной информации КИМ**

Конечная цель обработки информации, полученной координатно-измерительной машиной в системе координат системы измерения – получение протокола обработки измеренных координат реальных поверхностей деталей с указанием всех геометрических параметров отклонений формы и расположения всех поверхностей детали.

Таких алгоритмов может быть несколько.

Наиболее общий алгоритм может быть таким.

1. Вначале требуется создать и сохранить номинальную 3D-геометрию детали в номинальной системе координат проекта и определить в ней положение номинальной системы координат каждой номинальной поверхности. Для плоскостей это будут координаты точек, принадлежащих плоскостям и направления нормалей к плоскостям. Для поверхностей вращения – координаты точек, принадлежащие осям и направления осей вращения. Для остальных поверхностей детали – координаты точек начал собственных координат поверхностей и направления осей систем координат номинальных поверхностей в номинальной системе координат проекта детали.

2. Выбрать базу (любую выбранную систему координат или номинальную систему координат одной из номинальных поверхностей) и определить в ней параметры номинального положения нормалей к плоскостям, осей поверхностей вращения и номинальных систем координат номинальных поверхностей. На этом заканчивается предварительная подготовка информации о номинальной геометрии детали.

3. С помощью КИМ измерить и определить координаты массивов точек реальных поверхностей в системе координат системы измерения. Каждому массиву соответствует реальная поверхность.

4. Для массивов точек, соответствующих поверхностям, «похожим» на плоскости определить точки, принадлежащие номинальным плоскостям, вписанным в облака точек реальных поверхностей, и направления нормалей к плоскостям в системе координат системы измерения.

5. Для массивов точек, соответствующих поверхностям, «похожим» на поверхности вращения, в каждой номинальной системе координат каждой номинальной поверхности построить эквидистанту к номинальной поверхности. Изменяя величину эквидистанты и положение номинальной системы координат номинального элемента в системе координат системы измерения, определить *минимальную величину* эквидистанты, которой соответствует наименьший из возможных минимум суммы

квадратов отклонений точек реальной поверхности от *эквидистанты минимальной величины*. Этой *минимальной величине* эквидистанты соответствует положение и направление оси номинальной поверхности в системе координат системы измерения.

6. Для массивов точек остальных поверхностей построить эквидистанты к каждой номинальной поверхности. Изменяя величину и положение эквидистант до тех пор, пока не будет достигнут наименьший из возможных минимум суммы квадратов отклонений точек реальной поверхности от эквидистант. Такому положению соответствует положение номинальной системы координат номинальной поверхности в системе координат системы измерения.

7. По найденным положениям систем координат номинальных поверхностей в системе координат системы измерения определить отклонения формы реальных поверхностей.

8. Определить координаты точек реальных поверхностей наиболее и наименее удалённых от номинальных поверхностей, размещённых в системе координат системы измерения.

9. Построить эквидистанты к номинальным поверхностям по наиболее и наименее удалённым точкам. Выделить границы реальных поверхностей детали.

10. Положение нормалей к плоскостям, осей поверхностей, «похожих» на тело вращения, и номинальных систем координат реальных поверхностей всех видов определяет расположение реальных поверхностей детали в системе координат системы измерения.

11. Выбрав базу в системе координат системы измерения<sup>5</sup>, определить по отношению к ней численные параметры расположения систем координат реальных поверхностей, осей осесимметричных поверхностей и нормалей к поверхностям, «похожим» на плоскости.

12. Сравнить определённые параметры расположения с аналогичными в номинальной системе координат проекта детали и определить погрешности расположения реальных поверхностей.

13. Составить протокол результатов определённых погрешностей формы и расположения реальных поверхностей детали.

14. Сопоставить с требованиями по отклонениям формы и расположения поверхностей детали и оформить результаты измерений детали в соответствии с требованиями.

Наиболее сложным элементом алгоритма обработки измерительной информации для поверхностей с кривизной является одновременное изменение величины эквидистанты и положения номинальной системы координат номинального элемента в системе координат системы измерения при поиске «минимума миниморум» величины эквидистанты.

Этот элемент алгоритма можно существенно упростить за счёт введения в номинальной системе координат проекта детали наиболее удалённых друг от друга, не лежащих на одной прямой характерных точек, принадлежащих поверхностям с кривизной. Такие точки в системе координат проекта детали могут быть следствием пересечения трёх номинальных поверхностей. Эти же точки могут быть определены в системе координат системы измерения. Измерение расстояний между характерными точками в системе координат системы измерения и сравнение этих расстояний с расстояниями между одноимёнными характерными точками в системе координат проекта детали позволяет определить параметры эквидистанты, обеспечивающей «минимум миниморум» величины эквидистанты. В системе координат системы измерения совместить одноимённые измеренные характерные точки каждой поверхности с соответствующими им характерными точками эквидистант в номинальной системе координат и по ним определить положение номинальных систем координат номинальных элементов в системе координат системы измерения.

## Список литературы

1. ГОСТ 24642-81 Допуски формы и расположения поверхностей.
2. Кашуба Л.А. Представление геометрии поверхностей изделий машиностроения // Системный анализ в науке и образовании: электрон. науч. журнал. – Дубна, 2011. – №1. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/19.-0421100111\0004>.

<sup>5</sup> Лучше аналогичную принятой в номинальной системе координат.