

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПУТЕМ АНАЛИТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

О.А.Ленкевич, преподаватель кафедры СМИС

Особенности методов измерительного контроля приводят к появлению в результатах измерений методических погрешностей систематического характера. Такие погрешности могут возникать из-за несовпадения систем координат, в которых измеряются разные геометрические параметры деталей. В итоге некоторые функционально годные детали могут быть ошибочно отнесены к бракованным и наоборот. Таким образом, общим недостатком традиционного координатного контроля геометрических параметров деталей является отсутствие оптимизации расположения всех контролируемых элементов реальной детали, воспроизведенных по результатам измерения координат ограниченного количества контрольных точек относительно ее номинальной системы координат, а также сопряженной с ней оптимизации взаимосвязанных полей допусков контролируемых параметров.

Анализ литературы позволяет сделать вывод о том, что существующее в настоящее время методическое обеспечение координатного контроля геометрических параметров изделий базируется на двух ключевых аспектах.

Первый аспект заключается в том, что методики выполнения измерений проектируются таким образом, чтобы предупредить погрешности метода, возможные при искажении размеров, формы и расположения элементов. Недостатком такого подхода к разработке методик является их избыточная сложность, что приводит к необходимости использования дорогостоящих средств

измерений, выбору неоправданно большого количества контрольных точек (сечений) при реализации методик и предполагает привлечение персонала высокой квалификации. Необоснованное сокращение числа контролируемых точек (сечений) может привести к недостаточности измерительной информации для решения поставленной измерительной задачи, а следовательно, к неадекватности получаемой экспериментальной модели реальному объекту измерения. Следствием такого подхода являются неприемлемо большие методические погрешности измерений контролируемых параметров. Значит, необходима оптимизация методик координатных измерений по критерию обеспечения требуемой точности контроля при минимальном количестве контролируемых точек или сечений. На данный момент общая методология решения такой оптимизационной задачи в области координатного контроля отсутствует.

Второй аспект состоит в том, что при независимом контроле геометрических параметров деталей каждый контролируемый параметр измеряется автономно, в своей системе координат (плавающей или фиксированной) и формально ограничивается своим полем допуска, не связанным с полями допусков других геометрических параметров. Исключение составляет контроль параметров с зависимыми допусками, которые контролируются комплексными калибрами. Контроль геометрических параметров с помощью комплексных калибров имеет ограниченную сферу приме-

нения (во-первых, используется в основном для контроля геометрических параметров деталей в массовом производстве и, во-вторых, несет в себе информацию о действительных значениях контролируемых параметров в неявном виде).

С целью повышения качества контроля геометрических параметров деталей предлагается новый подход к координатным измерениям, позволяющий минимизировать погрешности метода путем их аналитической компенсации. Принципиальное отличие этого подхода от традиционного состоит в иной трактовке предельных размеров детали, оптимизации ее системы координат с одновременным аналитическим перераспределением взаимосвязанных полей допусков (оптимизацией комплексного поля допуска детали).

Предельные размеры детали предлагается трактовать как комплекс взаимосвязанных предельных размеров всех элементов детали, рассматриваемых как одно общее поле и определяющих два комплексных плавающих предельных контура детали, один из которых соответствует пределу максимума материала, а второй – пределу минимума материала детали. При этом все элементы контролируемой детали должны измеряться в одной фиксированной системе координат, жестко связанной с контролируемой деталью, что можно реализовать при использовании многомерных специальных или многокоординатных универсальных приборов. При этом годной следует считать деталь, все реальные элементы которой могут быть “вписаны” между двумя ее плавающими предельными контурами.

Положение предельных контуров детали может быть определено и описано аналитически на основании заданных

полей допусков всех рассматриваемых элементов, образующих комплексное поле допусков детали. Функционально годной будет считаться та деталь, реальный контур которой удастся вписать в плавающие предельные контуры, для чего при необходимости соответствующим образом перераспределяют поля допусков элементов в пределах комплексного поля допуска детали. При этом вполне возможно, что при традиционном подходе к контролю эта же деталь может быть забракована по отдельным геометрическим параметрам или элементам. Для проверки возможности вписывания реального контура детали в предельные размеры предлагается осуществлять оптимизацию системы координат детали (поиск оптимального пространственного расположения реальных элементов детали) с одновременным аналитическим перераспределением взаимосвязанных полей допусков (оптимизацией комплексного поля допусков детали).

Суть контроля геометрических параметров детали на основе оптимизации систем координат с одновременным перераспределением взаимосвязанных полей допусков можно продемонстрировать с помощью схемы, представленной на рис. 1.

Предлагаемый новый подход к контролю геометрических параметров детали требует использования совместного аналитического и экспериментального моделирования объекта измерения.

Для реализации предложенного подхода, разработки математического и программного обеспечения оптимизации систем координат и перераспределения полей допусков детали номинально прямоугольной формы ограничимся рассмотрением "плоской" задачи.

Для построения нормативной аналитической модели контролируемой дета-

ли и апробации предлагаемого подхода были сформулированы и научно обоснованы условия функциональной годности неправильно "забракованной" плоской детали номинально прямоугольной формы.

Одним из условий существования решения поставленной задачи оптимизации является следующее (рис. 2):

$$R_{\min} < |\rho| < R_{\max}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – "радиус-вектор" диагонали исследуемой детали;

$R_{\max}$ ,  $R_{\min}$  – диагонали предельных контуров прямоугольной формы.

Данное условие будет являться необходимым, но недостаточным для годности детали.

Достаточным же условием будет выполнение следующих неравенств,

накладываемых ограничения на угол поворота детали:

$$\begin{aligned} \gamma &> 0; \\ \beta &> 0. \end{aligned}$$

В качестве положительного направления "поворота" выбраны направления против часовой стрелки для оси X, по часовой – для оси Y.

Оба эти условия являются гарантией того, что, используя новую систему координат и "поворот" детали в пределах поля допуска, можно найти такое положение контролируемой детали, что формально забракованная деталь может быть признана функционально годной. Это позволит значительно повысить достоверность контроля и сократить количество неправильно забракованных деталей.

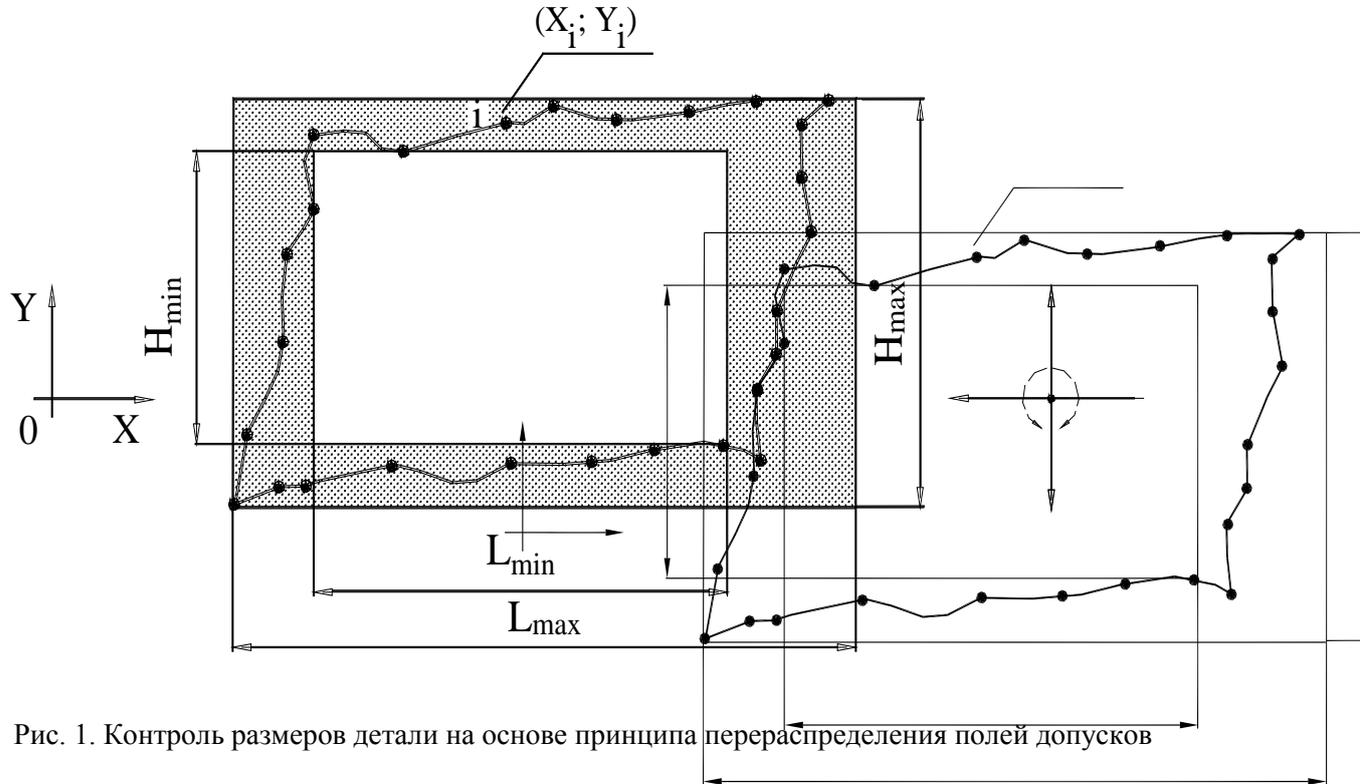


Рис. 1. Контроль размеров детали на основе принципа перераспределения полей допусков

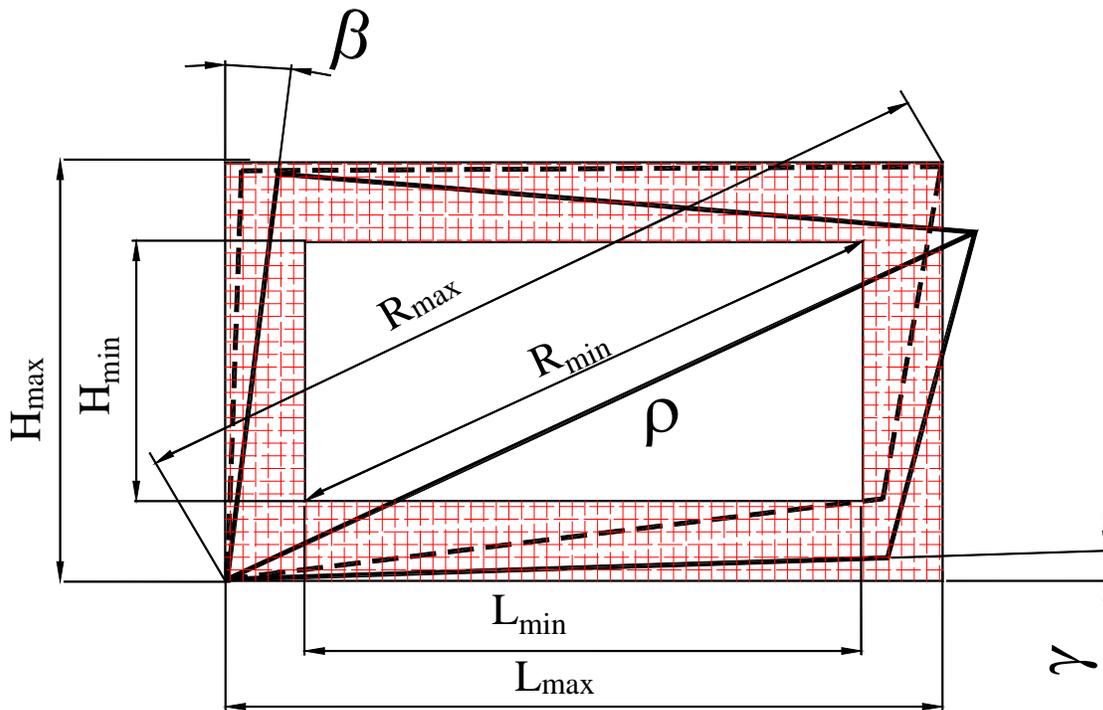


Рис. 2. Графическая интерпретация необходимого и достаточного условия решения задачи

Для оптимизации системы координат детали необходимо совместить профиль  $G$  плоской детали  $ABCD$  (рис. 3), являющейся выпуклым четырехугольником, с областью  $S$ , образованной внешним предельным прямоугольным контуром с размерами  $a_e b_e$  и внутренним предельным прямоугольным контуром с размерами  $a_i b_i$ . Совмещение может осуществляться путем поворота реального профиля  $G$  в пределах области  $S$  на некоторый угол  $\varphi$  и плоскопараллельного переноса профиля на вектор смещений  $A = (A_x, A_y)$ .

Кроме определенных выше достаточного и необходимого условий без доказательства дополнительно накладывались следующие граничные условия:

1). Площадь  $S_D$  и периметр  $P_D$  реальной "плоской" детали должны лежать между площадями и периметрами предельных контуров:

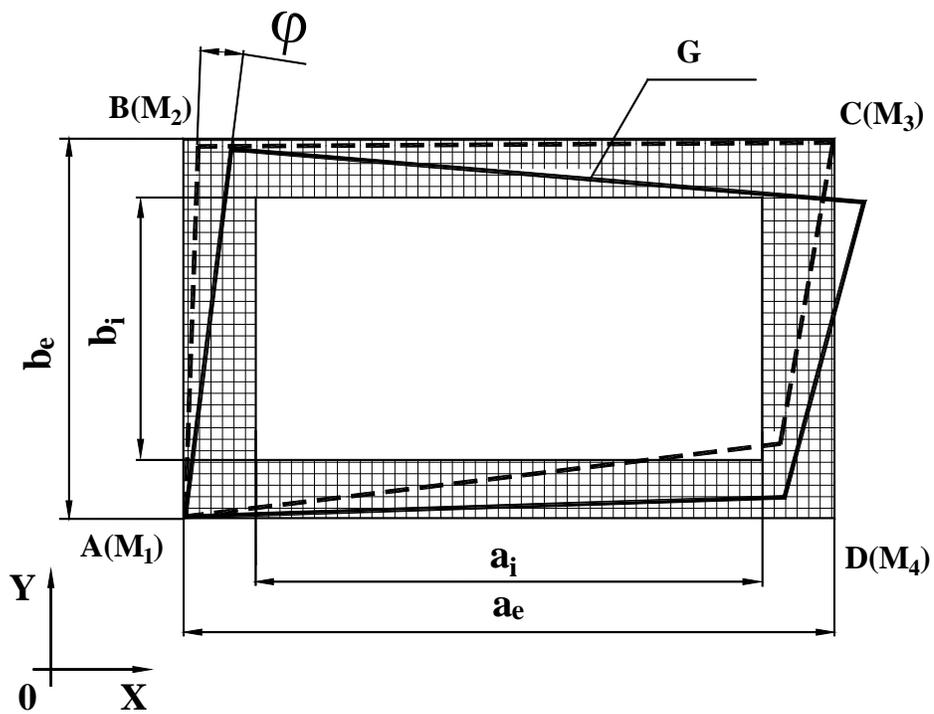
$$a_i b_i \leq S_D < a_e b_e,$$

$$P_i \leq P_D \leq P_e,$$

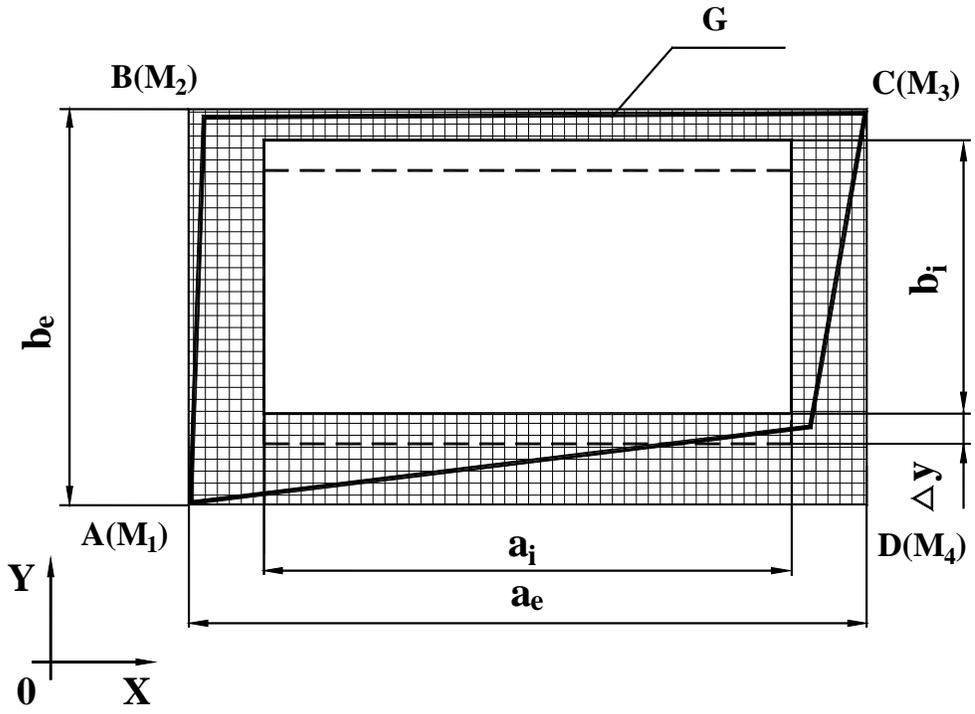
где  $P_e$  – периметр внешнего предельного прямоугольного контура;

$P_i$  – периметр внутреннего предельного прямоугольного контура.

2). Погрешность измерения координат точек реального профиля пренебрежимо мала по сравнению с допуском на размер детали  $ABCD$ .



a



б

Рис. 3. Оптимизация перераспределения полей допусков

Для трансформации экспериментальной метрологической модели объекта измерения в аналитическую профиль плоской детали номинально прямоугольной формы моделировался четырехугольником, который задается в декартовых координатах четырьмя базовыми точками, определяющими вершины профиля. Количество точек, характеризующих дискретную модель профиля, может задаваться от 0 до 1000 по каждой стороне модели.

Внешний и внутренний предельные контуры профиля при моделировании задаются координатами четырех точек, образующих соответствующие диагонали предельных прямоугольных контуров. При этом одновременно осуществляется проверка необходимого условия (1) возможности оптимизации системы координат и перераспределения полей допусков реального профиля детали. Поля допусков детали, представленной аналитической моделью, могут быть расположены симметрично и асимметрично относительно номинального профиля.

Для моделирования возможных технологических погрешностей изготовления реальных объектов при моделировании вносились линейное, гармоническое и стохастическое искажения номинального профиля. Изменение положения базовых точек, а следовательно, и их координат после линейной деформации может осуществляться отдельно по каждой базовой точке. Значение линейного искажения задается шагом искажения. На моделируемый объект дополнительно накладываются гармонические искажения, описываемые синусоидальным законом

$$A \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

где  $A$  – амплитуда колебаний, определяет значение максимального закономерного искажения профиля, мм;

$\omega$  – частота колебаний точек, определяется с учетом особенностей конкретного технологического процесса;

$t$  – внутренний программный параметр для реализации контура синусоиды.

Случайная составляющая погрешности профиля накладывается на гармонические искажения. Для графического представления реального профиля детали в виде ее дискретной модели формируется массив данных из координат базовых и промежуточных узловых точек (рис. 4). Это дает возможность осуществить первичное сопоставление аналитической модели контролируемой детали с ее нормативной моделью с целью определения годности детали и необходимости оптимизации ее системы координат.

Следующим шагом исследований было проведение вычислительного эксперимента, цель которого – обоснование возможности оптимизации координатного контроля и апробация предложенного механизма оптимизации координатных измерений при контроле геометрических параметров деталей.

Вычислительный эксперимент включает в себя решение двух задач. Первая задача эксперимента заключается в осуществлении плоскопараллельного переноса реального профиля детали вдоль декартовых осей  $X$  и  $Y$  и решается с помощью метода перебора. Если на первом этапе удастся оптимизировать систему координат и перераспределить поля допусков номинально плоской детали, то отпадает необходимость в осуществлении второго этапа вычислительного эксперимента – ”поворота” реального профиля детали. Это, несомненно, сокращает время проведения вычислительного эксперимента.

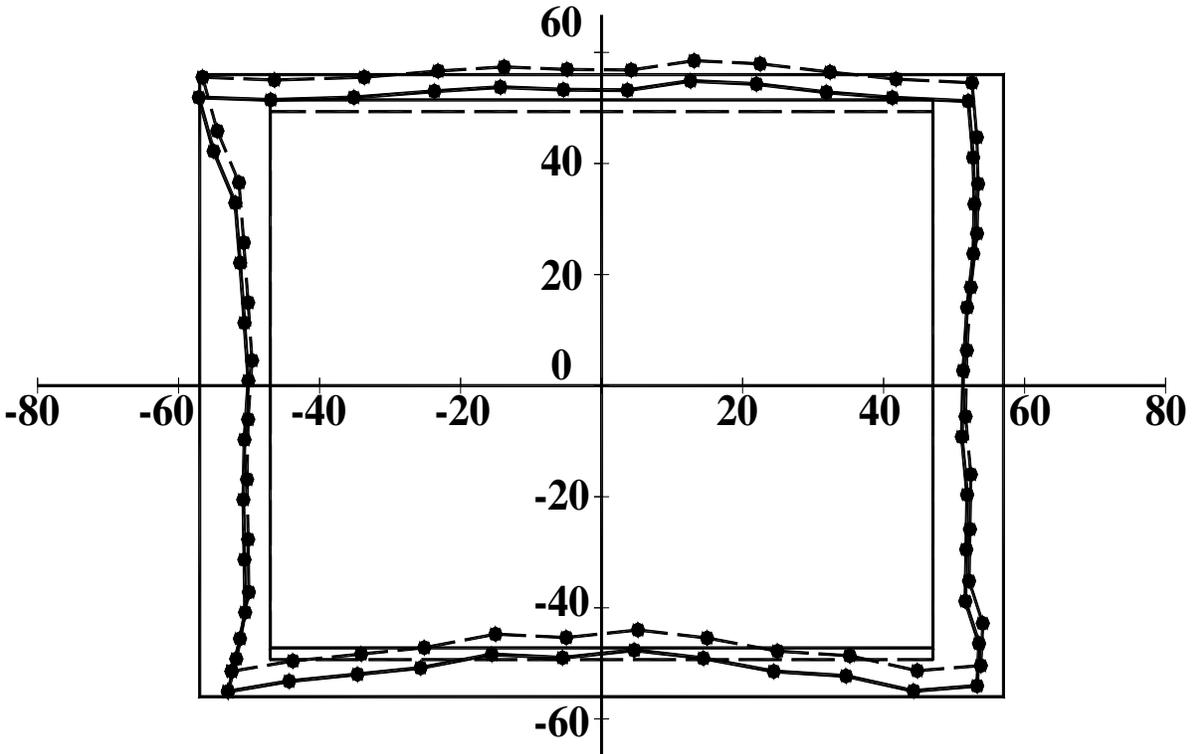


Рис. 4. Первичное сопоставление аналитической модели с нормативной моделью

Основная задача при реализации перебора заключается в нахождении его оптимальной последовательности, при которой возможность плоскопараллельного переноса вдоль декартовых осей  $X$  и  $Y$  и "поворота" реального профиля детали на угол  $\varphi$  встретится как можно раньше.

Шаг перемещения выбирается адаптивно, исходя из необходимости обеспечения минимальной методической погрешности, и зависит от длины стороны номинального контура и количества выбранных узловых промежуточных точек на сторонах профиля детали (в нашем случае – общее количество точек, определяющих реальный профиль детали, делится на 100).

После завершения вычислительного эксперимента формируется новый массив результатов измерений, где по координатам новых базовых угловых и промежуточных узловых точек возможно графическое представление реального профиля в виде его дискретной модели (см. рис. 4).

При моделировании объекта использовался язык C++, реализованный в компиляторе фирмы Borland версии 6.0 с привлечением персонального компьютера.

В результате проведенной работы дано новое истолкование предельных размеров детали, оптимизации ее системы координат и базирующееся на этом перераспределение взаимосвязанных полей допусков геометрических параметров "плоских" деталей. Кроме этого, теоретически

обоснованы научные принципы проектирования оптимизированных процедур координатного контроля геометрических параметров деталей с перераспределением взаимосвязанных полей допусков; разработаны методика моделирования механизмов влияния возмущающих факторов, математические модели и программное обеспечение оптимизации; проведена апробация предложенного механизма оп-

тимизации координатных измерений при контроле геометрических параметров "плоских" деталей.

Применение предлагаемого метода контроля позволит значительно повысить его достоверность и более объективно определять уровень качества контролируемых объектов с позиций их функционирования в составе сложного изделия.