

# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

**В.А. Рогов, Д.П. Примиренко, А.С. Кошеленко**

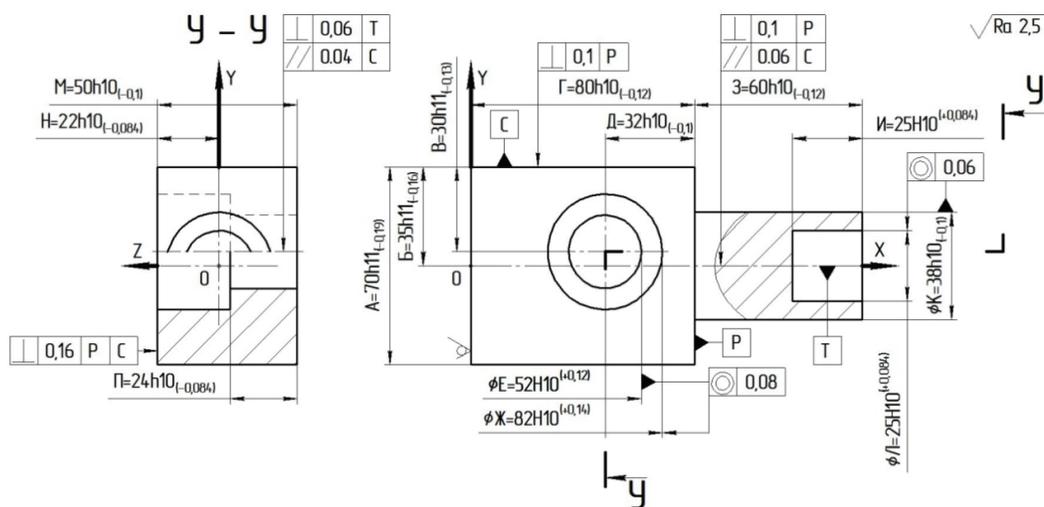
Кафедра технологии машиностроения,  
металлорежущих станков и инструментов  
Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 10а, Москва, Россия, 117198

Изложена методология определения характеристики составляющих звеньев технологической размерной цепи дискретной визуализацией изменений каждого звена в пределах его точности и визуальная оценка этого изменения на поведение замыкающего звена при расчете уравнений размерных связей на макс./мин.

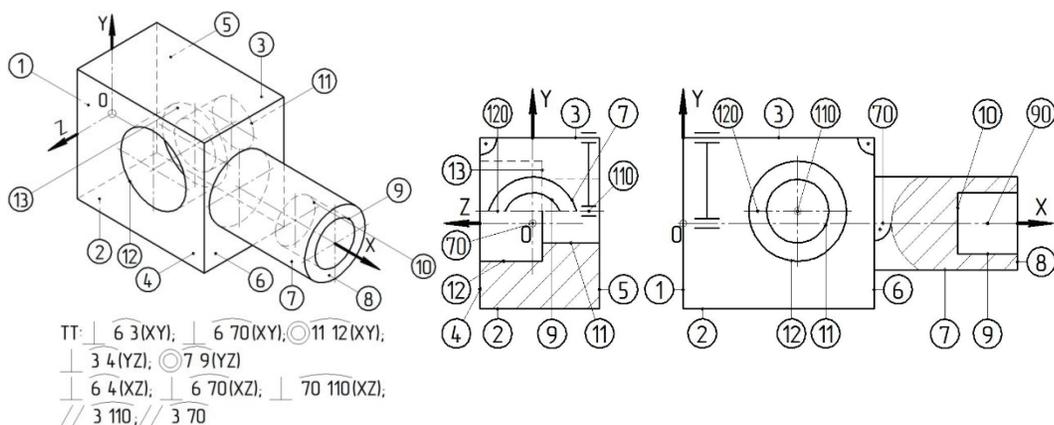
**Ключевые слова:** технология машиностроения, технологический процесс, точность, размерный анализ, граф размерных связей, визуализация.

Рассмотрим размерный анализ вновь проектируемого технологического процесса механической обработки, когда в качестве исходных данных имеется рабочий чертеж детали и метод получения заготовки. Для выполнения размерного анализа технологического процесса (РАТП) применим методику, изложенную в работах [1; 2]. Приведем пример выполнения РАТП корпусной детали (рис. 1) с целью визуализации параметров точности ее размеров на этапах технологического процесса механической обработки. Размерный анализ начинают с преобразования рабочего чертежа, которое включает следующие шаги:

- каждому размеру рабочего чертежа присваивается буквенный символ;
- индексируются цифровыми символами поверхности детали и их оси, участвующие в анализе в достаточном для понимания количестве проекций декартовой системы координат (рис. 1 и 2).



**Рис. 1.** Преобразованный рабочий чертеж детали для размерного анализа



**Рис. 2.** Цифровое индексирование поверхностей детали в различных проекциях с указанием точностных требований

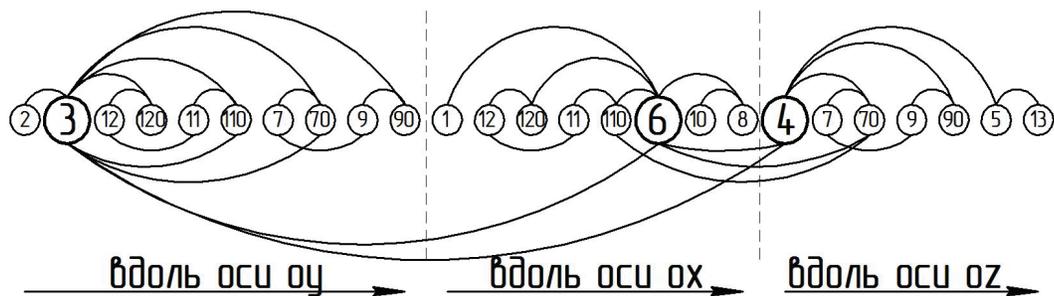
Поверхности исследуемой детали взаимно ориентируются точностными требованиями (ТТ), которые приведены на рис. 2, под ее изометрическим изображением. При этом соблюдаются следующие требования:

— перпендикулярность поверхностей 6 относительно 3; 6 относительно 70 в плоскости XOY; 3 относительно 4 в плоскости YOZ; 4 относительно 6; 6 относительно 70; 110 относительно 70 в плоскости XOZ;

— соосность отверстий 11 относительно 12 в плоскости XOY; 7 относительно 9 в плоскости YOZ;

— параллельность поверхностей 3 относительно 110; 3 относительно 70.

Анализ рабочего чертежа детали и ее ТТ позволяет выявить поверхности, которые предпочтительнее всего использовать в качестве комплекта единых технологических баз (КЕТБ). Для этого необходимо построить граф размерных конструкторских связей рабочего чертежа детали. Граф строится по трем осям системы координат, которые условно развернуты вдоль одной прямой (рис. 3).



**Рис. 3.** Граф размерных и ТТ связей рабочего чертежа детали

Поверхности на графе изображены в виде окружностей с соответствующей им цифровой индексацией, а размерные связи между поверхностями выполнены линиями, соединяющими эти окружности. Размеры между поверхностями и их осями изображены дугами сверху над окружностями в пределах одной оси, а ТТ

отклонений расположения — изображены дугами снизу под окружностями, которые соединяют поверхности, либо оси различных поверхностей (см. рис. 3). На графе вдоль каждой оси системы координат определяется поверхность, к которой проведено наибольшее количество связей. Так, вдоль оси  $OY$  — поверхность 3, вдоль оси  $OX$  — поверхность 6, а вдоль оси  $OZ$  — поверхности 4 или 5.

Таким образом, КЕТБ чистовых баз следует образовать поверхностями 3 : 6 : (4 или 5). Более предпочтительный вариант выявляется размерным анализом. Выбор черновых баз здесь не рассматривается, так как является отдельным вопросом. Прежде чем приступить к выполнению размерного анализа, необходимо разработать технологический процесс механической обработки детали, назначить схемы базирования на каждой операции, назначить точности на размеры обработки элементарных поверхностей, обеспечиваемые от технологических баз, рассчитать величины минимальных операционных припусков, определить размерные связи и величины допусков заготовки, руководствуясь методом ее получения. На основании этих исходных данных строится пооперационная схема размерных связей технологического процесса. В конкретном случае, с целью минимизации изложения этапов по проектированию техпроцесса обрабатываемой детали, остановимся на анализе пооперационной схемы размерных связей готового технологического процесса вдоль оси  $OZ$  в плоскости  $YOZ$  (рис. 4). В таблице (рис. 4) на операционных эскизах обрабатываемые поверхности показаны жирно. По данной размерной схеме построим граф размерных связей всех поверхностей, которые формируются вдоль оси  $OZ$  в плоскости  $YOZ$  (рис. 5). Вершинами графа являются

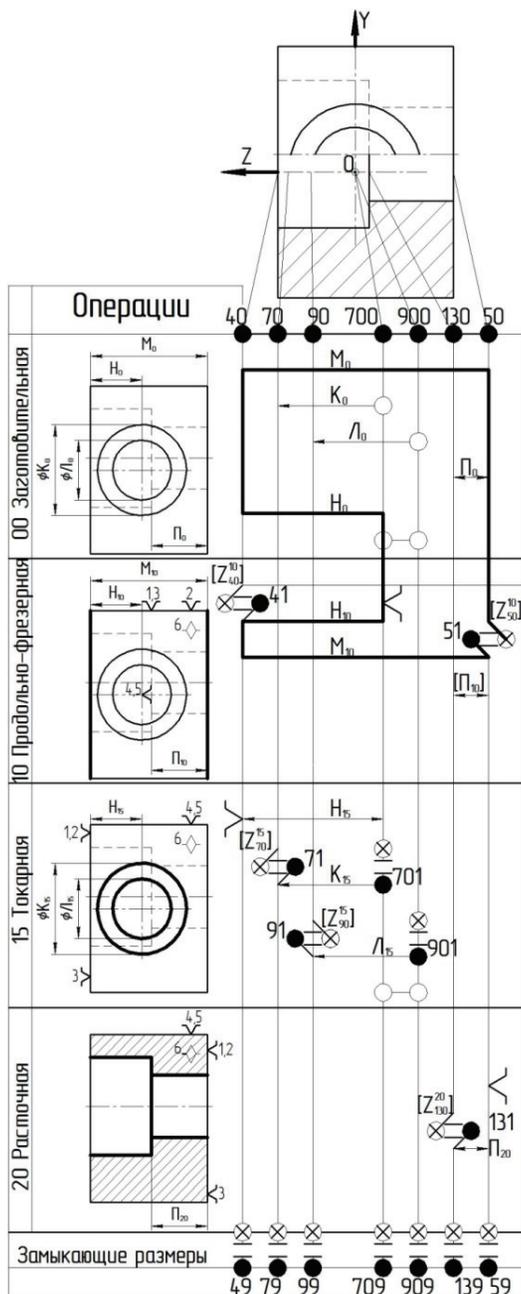


Рис. 4. Пооперационная схема размерных связей техпроцесса детали вдоль оси  $OZ$

окружности, символизирующие поверхности детали, ребрами графа — размерные связи, причем разное схематическое обозначение линий определяет роль ребра в графе.

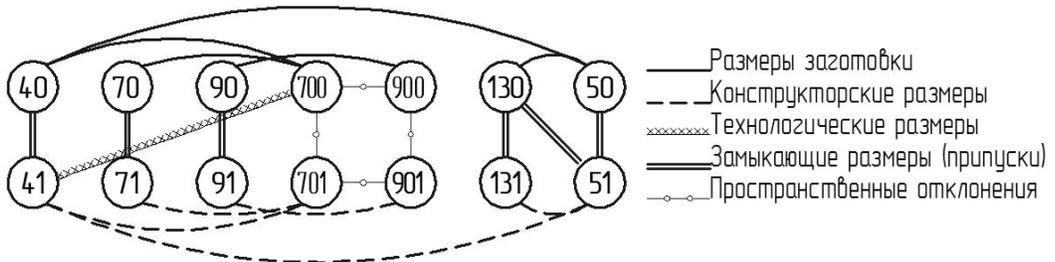


Рис. 5. Граф размерных связей технологического процесса вдоль оси OZ

Из анализа графа размерных связей выявляются технологические размерные цепи, для которых записываются уравнения в каждое из которых входит только одно замыкающее звено, а остальные звенья уравнения будут составляющими. Выберем на графе размерный контур (рис. 6) с замыкающим звеном  $[Z_{50}^{100}]$  — припуском на поверхности с индексом 50, подлежащим к удалению во время фрезерной операции 10 (см. рис. 4). Запишем уравнение этого размерного контура относительно замыкающего звена минимального припуска:  $[Z_{50}^{100}] = \pm M_0 \pm H_0 \pm H_{10} \pm M_{10}$ .

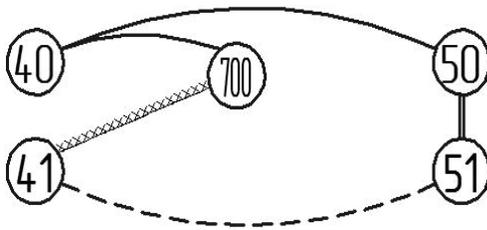


Рис. 6. Выявление уравнения замыкающего звена  $[Z_{50}^{100}]$  из графа размерных связей техпроцесса вдоль оси OZ

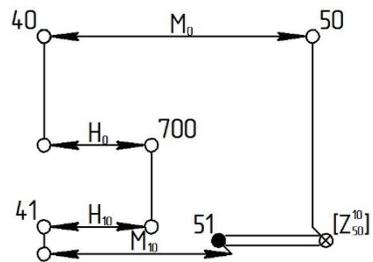
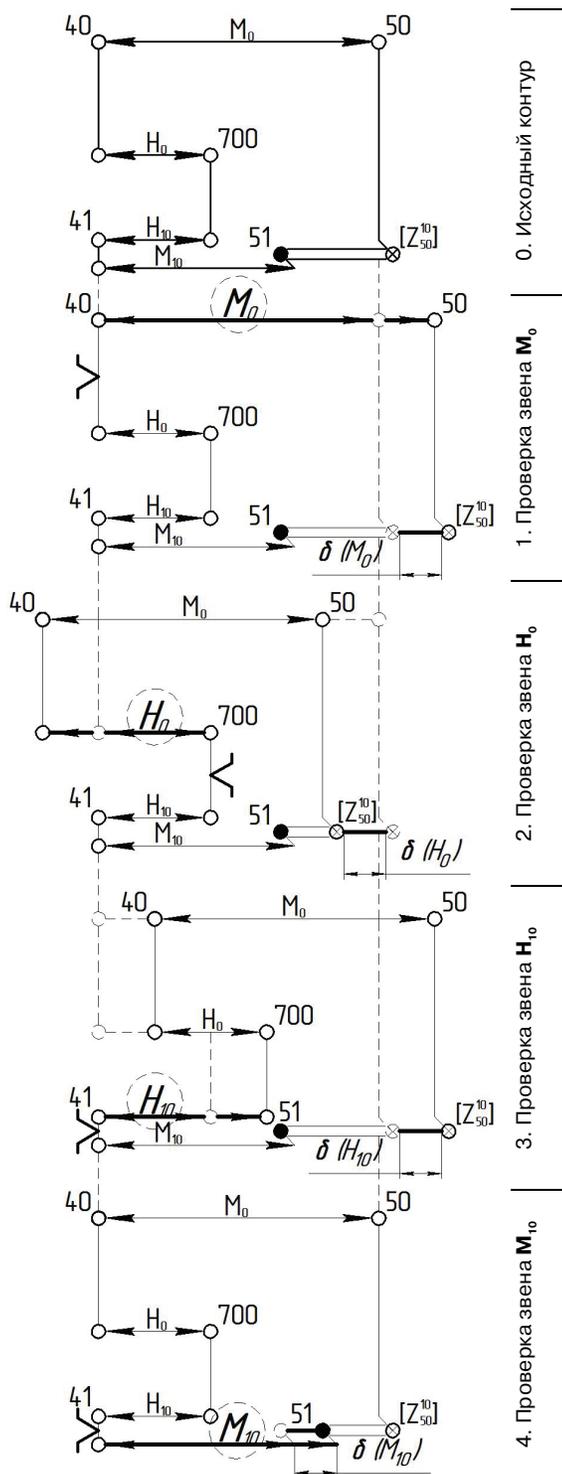


Рис. 7. Оцениваемый контур схемы пооперационных (№ 00—10) размерных связей техпроцесса вдоль оси OZ

Однако для его решения требуется определить знаки входящих в это уравнение составляющих звеньев, что позволит установить их характеристику.

По графу размерных связей выявить характеристики составляющих звеньев невозможно. Пооперационная схема размерных связей технологического процесса позволяет выявить характеристику составляющих звеньев. Так для коротких размерных цепей эта процедура не вызывает особых затруднений, но для длинных размерных цепей выявление характеристики увеличивающего или уменьшающего звена часто приводит к ошибкам. С этой задачей поможет справиться визуализация параметров точности формирующихся размеров на всех этапах технологического процесса механической обработки детали.



**Рис. 8.** Визуализация влияния составляющих звеньев размерных связей техпроцесса вдоль оси Z на изменение замыкающего звена  $[Z_{50}^{100}]$

В выбранном размерном контуре (заготовка 00 — операция 10, см. рис. 7) выявим характеристики составляющих звеньев, их поведение в размерной цепи по отношению к замыкающему звену, что позволит принять решение, какими они являются — уменьшающими, или увеличивающими. На рис. 8 предлагается методика определения характеристики составляющих звеньев технологического контура рис. 7. Пошагово визуализируем изменения каждого звена цепи в пределах его точности и выявляем влияние этого изменения на поведение замыкающего звена при расчете уравнений размерных связей на макс./мин. Такая методология позволяет минимизировать ошибки при составлении и решении уравнений технологических размерных цепей.

На схеме (рис. 8) последовательно визуально тестируется каждое составляющее звено размерного контура. Сначала исследуется звено  $M_0$  на этапе 1. Фиксируем символом опорной точки на поверхности 40 левый конец размера  $M_0$ , а правый его конец перемещаем вместе с поверхностью 50 на величину допуска  $\delta(M_0)$ . При совершении этой процедуры все остальные поверхности и, следовательно, связанные с ними размеры остаются неподвижными, т.е. не изменяются. Остается неподвижной и поверхность 51, принадлежащая левой границе замыкающего размера  $[Z_{50}^{100}]$ , а правая его граница смещается вместе с поверхностью 50 на величину допуска  $\delta(M_0)$ .

Таким образом, визуализируется увеличение замыкающего звена размерного контура при увеличении составляющего звена  $M_0$ , и, следовательно, оно является увеличивающим звеном размерной цепи. Поэтому в уравнение размерной цепи это звено входит с минимальным значением и положительным знаком. Далее обходим размерный контур против часовой стрелки. На этапе 2 исследуем составляющее звено  $H_0$ . Символ опорной точки поставим на поверхность 700, которая является осью цапфы, т.е. скрытой черновой базой. На начало тестирования каждого составляющего звена размерный контур принимает исходные параметры этапа 0. Это условие графически изображено пунктирными линиями, а проверяемое звено и его изменение на величину допуска изображено жирной линией. Одновременно визуализировано изменение жирной линией замыкающего звена на величину изменения проверяемого составляющего звена. На основании изложенного и с учетом визуализации всех остальных составляющих звеньев и их влияния на замыкающее звено  $[Z_{50}^{100}]$ , приведем характеристики: звено  $H_0$  — уменьшающее в пределах допуска размера  $H_0 - \delta(H_0)$ , мм; звено  $H_{10}$  — увеличивающее в пределах допуска размера  $H_{10} - \delta(H_{10})$ , мм; звено  $M_{10}$  — уменьшающее в пределах допуска размера  $M_{10} - \delta(M_{10})$ , мм. Вышеприведенное уравнение размерного контура на основании установленной визуализацией характеристики составляющих звеньев принимает вид:

$$[Z_{50}^{100}] = +\overrightarrow{M_0^{\min}} - \overrightarrow{H_0^{\max}} + \overrightarrow{H_{10}^{\min}} - \overrightarrow{M_{10}^{\max}}.$$

Разработаны параметрические модели размерных связей технологического процесса путем наложения ограничений (связей) на объекты начерченных ранее изображений, т.е. реализована вариационная параметризация. Параметризация двухмерных объектов доступна практически во всех современных САх (computer-aided technologies) системах. В сравнении с обычным изображением, которое представлено исключительно характеристиками геометрических объектов и их расположением, в параметрическом изображении сохраняется информация о взаимосвязях между объектами и наложенными на них ограничениями. Взаимосвязь объектов реализуется наложением зависимости на параметры между несколькими объектами. Редактирование одного из взаимосвязанных параметров приводит к изменению других параметров. При редактировании параметрами одного объекта, не имеющего общих связей с параметрами других объектов, никакие параметры не подлежат изменению. Для создания ограничения параметра объекта записывается зависимость между параметрами отдельного объекта или равенство параметра данного объекта константе. Использование переменных в моделях позволяет изменять параметры объектов, не прибегая к их редактированию. В созданных моделях размерных связей технологического процесса используются переменные предельных отклонений для задания значений предельных отклонений управляющих и зависимых размеров. Геометрическими объектами в данном случае будут выступать составляющие и замыкающие звенья технологических размерных цепей. Взаимосвязь же реализуется между параметрами составляющих

и одним замыкающим звеньями выявленных технологических размерных цепей. Таким образом, при редактировании одним из взаимосвязанных параметров управляющего составляющего звена — предельным отклонением размера и наложением ограничения на взаимосвязь с одной из поверхностей, от которой оно образуется, появляется визуальная возможность оценить его влияние на зависимое — замыкающее звено размерной цепи, при этом параметры других составляющих звеньев не изменяются. По данному методу исследуется каждое составляющее звено размерной цепи и их влияние на изменение замыкающего звена. Такая методология позволяет минимизировать ошибки при составлении и решении уравнений размерных цепей технологического процесса и может быть использована в процессе подготовки специалистов-технологов машиностроительного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. — М.: Машиностроение, 1982. — 264 с. [Razmerny analiz tehnologicheskikh processov / V.V. Matveev, M.M. Tverskoj, F.I. Bojkov I dr. — M.: Mashinostroenie, 1982. — 264 s.]
- [2] Жедь О.В., Кошеленко А.С., Махов А.А. Размерный анализ технологических процессов: Учеб. пособие. — М.: Изд-во РУДН, 2002. — 139 с. [Jed O.V., Koshelenko A.S., Makhov A.A. Razmerny analiz tehnologicheskikh processov: Ucheb.posobie. — M.: Izd-vo RUDN, 2002. — 139 s.]

### **ACCURACY OF THE PROPORTIONS PARAMETERS VISUALIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS PARTS BEING MECHANICALLY PROCESSED. DIMENSIONAL ANALYSIS APPLIED**

**V.A. Rogov, D.P. Primirenko,  
A.S. Koshelenko**

Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tooling  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The article deals with the methodology of determining the characteristics of the component parts of the technological dimensional chain through discrete visualization of changes of each part within its accuracy and visual estimation of this change on changing operation of the closing link when calculating equations on max. /min.

**Key words:** mechanical engineering technology, technological process, accuracy, dimensional analysis, flow chart of dimensional restraint, visualization.