

УДК 621.75

DOI:10.30987/2223-4608-2020-6-21-27

**Д.М. Филькин, к.т.н.,  
Е.А. Польский, к.т.н.**

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,  
241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, д. 7)

E-mail: filkin.dm@mail.ru; polski.eugene@gmail.com

## **Анализ точности установки заготовок на опорные призмы с учетом влияния размерных связей**

*Рассмотрено влияние различных параметров точности опорных призм, используемых в конструкциях станочных приспособлений, на точность установки заготовок. В качестве метода оценки точности установки использован размерный анализ. Приведены особенности технологического обеспечения точности опорных призм.*

**Ключевые слова:** точность; погрешность установки; размерный анализ; опорные призмы; передаточные коэффициенты; пригонка.

**D.M. Fil'kin, Can. Sc. Tech.,  
E.A. Pol'sky, Can. Sc. Tech.**

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, 50<sup>th</sup> October Anniversary Boulevard, Bryansk, 241035)

## **Accuracy analysis of billet installation upon support prisms taking into account dimensional tie impact**

*An impact of different accuracy parameters of supporting prisms used in designs of machine units upon the accuracy of billet installation is considered. As a method for the estimate of installation accuracy a dimension analysis is used. There are shown peculiarities of the technological support of supporting prism accuracy.*

**Keywords:** accuracy; error installation; dimension analysis; supporting prisms; gear ratios; fitting.

### **Введение**

При оценке достижимой точности изготовления деталей машин применяется расчетно-статистический метод учета различного рода элементарных погрешностей обработки деталей. Погрешность установки заготовок в приспособлении является одной из таких элементарных погрешностей. Корректный расчет погрешности установки важен для оценки надежности обеспечения точности выполнения технологической операции [1 – 4].

В станочных приспособлениях в качестве установочных элементов широко применяются опорные призмы. Призмы позволяют цен-

трировать заготовки, совмещая плоскость симметрии цилиндрической поверхности заготовки с плоскостью симметрии паза.

Погрешность установки определяют как сумму погрешностей базирования, погрешности закрепления и погрешности положения. В работах [5, 6] рассмотрены особенности формирования погрешностей базирования и положения в процессе установки заготовок в широкую призму, а также даются рекомендации назначения точности основных параметров призм. При этом все допуски рассматриваются как линейные параметры, в результате чего не учитываются некоторые дополнительные эффекты.

### Анализ погрешности установки опорной призмы

При использовании станочных приспособлений с опорными призмами происходит самоустановка заготовки в V-образном пазу призмы [7]. В результате самоустановки формируются определенные размерные связи в системе «заготовка – приспособление». Для оценки величины погрешности установки необходимо выполнить анализ этих связей методом размерного анализа (рис. 1).

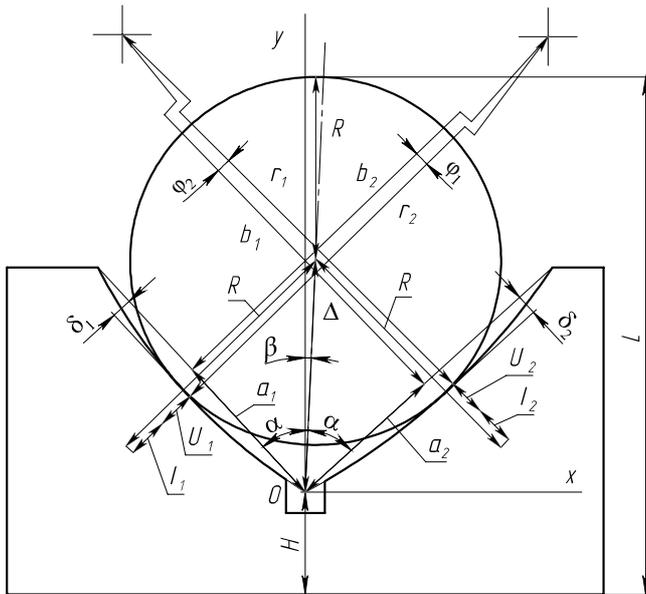


Рис. 1. Расчетная схема с вогнутыми поверхностями призмы

На расчетной схеме (см. рис. 1) учитываются следующие параметры: контрольный размер  $L$ , характеризующий смещение верхней точки заготовки; контрольный размер  $\Delta$ , характеризующий смещение центра заготовки; радиус устанавливаемой заготовки  $R$ ; размер до условного центра V-образного паза  $H$ ; угол  $\alpha$ , равный половине угла V-образного паза; угол симметрии V-образного паза  $\beta$ ; размер макротоклонения  $\delta$ , характеризующий отклонение от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; радиус цилиндров  $r$ , моделирующих отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; размеры

$a$  и  $b$ , определяющие положения центров цилиндров, моделирующих отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; размеры  $I$ , характеризующие износ призмы в процессе эксплуатации; размеры  $U$ , характеризующие упругие деформации заготовки при закреплении; углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , определяемые условием самоустановки заготовок в призме.

Контрольный размер  $L$  на схеме изображен вертикальным условно. В действительности он замыкает размер  $H$  с верхней точкой размера  $R$  заготовки. Таким образом, в общем случае размер  $L$  содержит погрешность установки как вдоль оси  $OX$ , так и вдоль оси  $OY$ .

Размеры  $r_1$  и  $r_2$ , а также углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  являются размерами, которые формируются в результате самоустановки заготовки в призме, и поэтому их значения зависят от фактических значений других размеров.

Макротоклонения в данной расчетной схеме представлены отклонением от плоскостности поверхностей V-образного паза и моделируются в виде цилиндров. Допуск отклонения от плоскостности задается допуском размера  $\delta$ . Положение максимума макротоклонения задается размером  $a$ . Значения размера  $a$  может изменяться, при этом оставаясь в пределах длины боковой стороны паза призмы. Размер  $b$  также используется для моделирования отклонений от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза призмы. Значение размера  $b$  определяется значениями размеров  $\delta$  и  $a$ . Варьирование по этому размеру не производится.

В данной расчетной схеме также учитывается потеря точности призмы вследствие изнашивания и контактных деформаций базовых поверхностей V-образного паза.

Если рассматривать параметры призмы независимо, т.е. вместо  $a$ ,  $b$ ,  $r$  и  $\delta$  ввести размеры  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , то для определения погрешностей контрольных размеров  $L$  и  $\Delta$  из расчетной схемы можно выделить несколько размерных цепей, формирующих следующую систему уравнений:

$$f_1 = a_1 \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \cos(\alpha - \beta) + r_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I_2 \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + U_2 \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r_2 \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b_2 \cos(-\alpha - \beta) + a_2 \cos(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0.$$

$$\begin{aligned}
 f_2 &= a_1 \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \sin(\alpha - \beta) + r_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I_2 \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + \\
 &+ U_2 \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r_2 \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b_2 \sin(-\alpha - \beta) + a_2 \sin(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0; \\
 f_3 &= b_1 + \delta_1 - r_1 = 0; \quad f_4 = b_2 + \delta_2 - r_2 = 0; \\
 f_5 &= a_1 \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \cos(\alpha - \beta) + r_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_x; \\
 f_6 &= a_1 \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \sin(\alpha - \beta) + r_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_y; \\
 f_7 &= H \cos 90^\circ + a_1 \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \cos(\alpha - \beta) + r_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos 90^\circ = L_x; \\
 f_8 &= H \sin 90^\circ + a_1 \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \sin(\alpha - \beta) + r_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin 90^\circ = L_y.
 \end{aligned}$$

Первые четыре уравнения системы представляют две размерных цепи, описывающие самоустановку заготовки в опорной призме. Такие цепи называют замкнутыми. Остальные четыре уравнения системы описывают формирование фактических значений конструкторских размеров  $L$  и  $\Delta$ . Такие цепи называют открытыми.

В матричном виде система размерных уравнений имеет вид [8]:

$$\begin{aligned}
 [A]\{x\} + [B]\{\phi\} &= \{0\}; \\
 [C]\{x\} + [D]\{\phi\} &= \{V\},
 \end{aligned}$$

где  $[A]$ ,  $[B]$  – матрицы частных производных, представляющих влияние конструкторских

размеров и самоустанавливающихся размеров в замкнутых цепях соответственно;  $[C]$ ,  $[D]$  – матрицы частных производных, представляющих влияние конструкторских размеров и самоустанавливающихся размеров в открытых цепях соответственно;  $\{x\}$  – вектор допусков конструкторских размеров заготовок и опорной призмы;  $\{\phi\}$  – вектор допусков самоустанавливающихся размеров, значения которых определяются другими размерами в замкнутых цепях;  $\{V\}$  – вектор допусков замыкающих звеньев, определяющих точность установки заготовок в опорной призме.

В результате преобразований получаются следующие выражения передаточных коэффициентов  $C_j$  для всех рассматриваемых параметров (табл. 1).

### 1. Передаточные коэффициенты для расчетной схемы с вогнутыми поверхностями призмы

	$C_H$	$C_R$	$C_{a1}$	$C_{a2}$	$C_a$	$C_\beta$	$C_{\delta_1}$	$C_{\delta_2}$	$C_{I1}$	$C_{I2}$	$C_{U1}$	$C_{U2}$
$\Delta_x$	0	0	0	0	0	$\sin \alpha$	$2 \cos \alpha$					
$\Delta_y$	0	$\sin \alpha$	0	0	$\cos^2 \alpha - 1$	0	$2 \sin \alpha$					
$L_x$	0	0	0	0	0	$\sin \alpha$	$2 \cos \alpha$					
$L_y$	1	$\sin \alpha$	0	0	$\cos^2 \alpha - 1$	0	$2 \sin \alpha$					

Анализ результатов показывает отсутствие влияния допуска размера  $a$  на точность установки из-за малости отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза. Также из полученных значений передаточных коэффициентов  $C_j$  видно, что призма дает погрешность установки не только вдоль своей оси симметрии, вертикальной оси  $OY$ , но и вдоль горизонтальной оси  $OX$  (погрешность центрирования), что может вызывать дополнительные отклонения операционных размеров в процессе выполнения технологических

операций (например, эксцентриситеты отверстий, отклонения от симметричности шпоночных пазов и др.). Погрешность установки вдоль оси  $OX$  определяется отклонением от симметричности V-образного паза, характеризуемым допуском угла  $\beta$ ; наличием размеров  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , характеризующих отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; неравномерных изнашивания  $I$  и контактных деформаций  $U$  боковых сторон V-образного паза.

**Анализ передаточных коэффициентов макроотклонений**

Влияние погрешностей формы базовых поверхностей V-образного паза призмы выполняется при помощи двух расчетных схем. Точность боковых сторон паза будет нормироваться одинаково, т.е.  $\delta_1 = \delta_2$ .

Первая расчетная схема размерных связей, формирующихся при установке заготовок в опорной призме, аналогична описанной выше (см. рис. 1). В данной схеме макронеровности  $\delta$ , износ  $I$  и контактные деформации  $U$  с обеих

сторон V-образного паза принимаются одинаковыми. Также одинаковы и вспомогательные параметры  $a$ ,  $b$  и  $r$ .

Форма базовых поверхностей паза призмы рассматривается вогнутой с обеих сторон. Такая форма на практике встречается наиболее часто, что обусловлено закономерностями изнашивания шлифовальных кругов, используемых при изготовлении опорных призм, и изнашивания самого V-образного паза в процессе эксплуатации станочного приспособления.

Система размерных уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= a \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b \cos(\alpha - \beta) + r \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + \\
 &+ U \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b \cos(-\alpha - \beta) + a \cos(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0; \\
 f_2 &= a \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b \sin(\alpha - \beta) + r \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + \\
 &+ U \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b \sin(-\alpha - \beta) + a \sin(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0; \\
 f_3 &= b + \delta - r = 0; \\
 f_4 &= a \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b \cos(\alpha - \beta) + r \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_x; \\
 f_5 &= a \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b \sin(\alpha - \beta) + r \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_y; \\
 f_6 &= H \cos 90^\circ + a \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b \cos(\alpha - \beta) + r \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos 90^\circ = L_x; \\
 f_7 &= H \sin 90^\circ + a \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b \sin(\alpha - \beta) + r \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin 90^\circ = L_y;
 \end{aligned}$$

В результате получаем следующие выражения для определения передаточных коэффициентов  $C_j$  для всех рассматриваемых параметров, представленные в виде матрицы:

$$\begin{Bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ L_x \\ L_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \frac{\sin \alpha + 1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_H \\ T_R \\ T_\alpha \\ T_\beta \\ T_\delta \\ T_I \\ T_U \end{Bmatrix}.$$

Из полученных выражений  $C_\delta$  (см. табл.1) следует, что в заданных условиях макроотклонения  $\delta$  оказывают влияние только на погрешность установки заготовки в направлении оси  $OY$  и при этом достигают максимальных значений.

Для получения другого предельного положения заготовки в опорной призме использовалась расчетная схема, представленная на рис. 2. Ее особенность заключается в том, что левая плоскость паза призмы выпуклая, а правая – вогнутая. При таких фактических значе-

ниях отклонений от плоскостности смещение заготовки происходит преимущественно в направлении горизонтальной оси  $OX$ .

Построение системы размерных уравнений и ее решение выполняется аналогично. Полученная матрица передаточных коэффициентов  $C_j$  отличается лишь значениями передаточных коэффициентов для допуска отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза  $T_\delta$ .

Передаточные коэффициенты, характеризующие влияние на смещение вала вдоль оси  $OY$  равны 0, а передаточные коэффициенты, характеризующие влияние на смещение вала вдоль оси  $OX$ , после подстановки номинального значения для размера  $a$  равны  $1/\cos \alpha$ . Направление выпуклости макронеровностей в расчетной схеме оказывает влияние лишь на знак передаточного коэффициента.

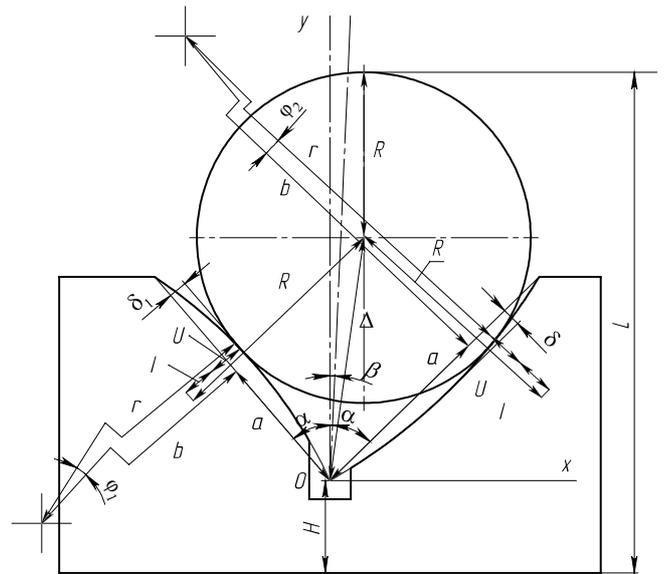


Рис. 2. Расчетная схема с выпукло-вогнутыми поверхностями призмы

$$\begin{pmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ L_x \\ L_y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & \frac{1}{\cos \alpha} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & \frac{1}{\cos \alpha} & 0 & 0 \\ 1 & \frac{\sin \alpha + 1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} T_H \\ T_R \\ T_\alpha \\ T_\beta \\ T_\delta \\ T_I \\ T_U \end{pmatrix}$$

**Расчет погрешности установки заготовок в опорной призме.** Погрешность установки заготовки в опорную призму для размера  $\Delta$  может быть определена следующим образом [9]:

– в вертикальном направлении (ось  $OY$ )

$$\varepsilon_y = \sqrt{K_H^2 T_H^2 + K_R^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_R^2 + K_\alpha^2 \left(\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1}\right)^2 T_\alpha^2 + K_\delta^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_\delta^2 + \dots + K_I^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_I^2 + K_U^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_U^2} / K_\Sigma;$$

– в горизонтальном направлении (ось  $OX$ )

$$\varepsilon_x = \sqrt{K_\beta^2 \left(\frac{R}{\sin \alpha}\right)^2 T_\beta^2 + K_\delta^2 \left(\frac{1}{\cos \alpha}\right)^2 T_\delta^2 + K_I^2 \left(\frac{1}{2 \cos \alpha}\right)^2 T_I^2} / K,$$

где  $K_i, K_\Sigma$  – коэффициенты относительного рассеяния соответственно  $i$ -го параметра и исходного звена (погрешности установки) [9].

В полученных выражениях можно выделить составляющие погрешности установки: погрешность базирования, погрешность закрепления и погрешность положения.

**Учет точности обеспечения угловых параметров V-образного паза при изготовлении опорной призмы.** На практике часто точность опорных призм обеспечивается ме-

тодом пригонки в процессе окончательной шлифовки установочных элементов приспособления в сборе. Контроль точности изготовления призмы выполняется при помощи контрольного вала по размеру  $L$  (рис. 3).

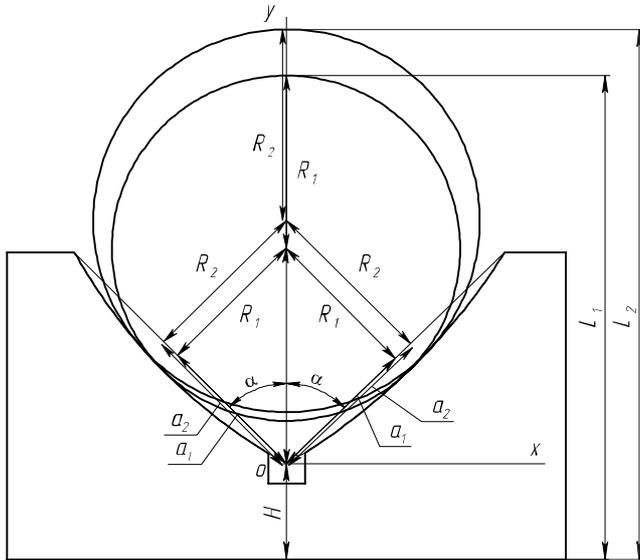


Рис. 3. Схема пригонки призмы

Для стандартных опорных призм ГОСТ 12195-66 нормирует значения диаметра  $d$  контрольного вала и размер  $L$ , точность которого

должна соответствовать отклонению  $h6$ . Аналогично точность задается в других стандартах, описывающих конструкции призм, используемых в станочных приспособлениях.

В случае обеспечения точности размера  $L$  опорной призмы по контрольному валу в качестве компенсирующего звена выбирается размер  $H$ , определяющий высоту V-образного паза относительно основания призмы или базовой плоскости корпуса приспособления, используемой для установки на стол станка. Затем в процессе шлифовки призмы и снятия материала с боковых сторон паза добиваются необходимой точности по размеру  $L$ .

Такая схема срабатывает только без учета влияния угловых размеров на точности призмы. В частности, важно жестко лимитировать допуск угла  $\alpha$  V-образного паза. Согласно ГОСТ 12195-66 диаметр  $d$  контрольного вала выбирается из середины интервала возможных диаметров базовых поверхностей заготовок. Следовательно, после пригонки призмы в размер  $L$  по диаметру  $d$  контрольного вала, установка и обработка заготовок с номиналом базовой поверхности больше  $d$  может приводить к браку.

В представленной расчетной схеме можно выделить следующие размерные контуры:

$$\begin{aligned} f_1 &= a_1 \cos(90^\circ + \alpha) + R_1 \cos(\alpha) + R_1 \cos(-\alpha) + a_1 \cos(-90^\circ - \alpha) = 0; \\ f_2 &= a_2 \cos(90^\circ + \alpha) + R_2 \cos(\alpha) + R_2 \cos(-\alpha) + a_2 \cos(-90^\circ - \alpha) = 0; \\ f_3 &= H \cos 90^\circ + a_1 \cos(90^\circ + \alpha) + R_1 \cos(\alpha) + R_1 \cos(90^\circ) + L_1 \cos(-90^\circ) = 0; \\ f_4 &= H \sin 90^\circ + a_1 \sin(90^\circ + \alpha) + R_1 \sin(\alpha) + R_1 \sin(90^\circ) + L_1 \sin(-90^\circ) = 0; \\ f_5 &= H \cos 90^\circ + a_2 \cos(90^\circ + \alpha) + R_2 \cos(\alpha) + R_2 \cos(90^\circ) = L_{2x}; \\ f_6 &= H \sin 90^\circ + a_2 \sin(90^\circ + \alpha) + R_2 \sin(\alpha) + R_2 \sin(90^\circ) = L_{2y}. \end{aligned}$$

Коэффициент передаточного отношения размера  $L_1$  на точность размера заготовки  $L_2$ , определяется выражением  $[C - EB^{-1}A]$ . После подстановки номинальных значений размеров  $a_1 = R_1/\operatorname{tg}\alpha$  и  $a_2 = R_2/\operatorname{tg}\alpha$  получим:

$$\begin{Bmatrix} L_{2x} \\ L_{2y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2R_2 - R_1}{R_1} \end{bmatrix} \{T_{L1}\}.$$

Из данного выражения видно, что установка заготовок с размером базовой поверхности  $R_2$ , превышающей размер контрольного вала  $R_1$ , может приводить к выходу за допуск по размеру  $L_2$ . Таким образом, необходимо более жестко нормировать допуски угловых размеров стандартных призм, либо выбирать в качестве диаметра контрольного вала наибольший диаметр из подходящего интервала уста-

навливаемых деталей.

### Заключение

В статье на примере приспособления с опорной призмой показан анализ погрешности установки станочных приспособлений при помощи размерного анализа. Получены выражения для определения погрешности установки в целом, а также выражения для определения передаточных коэффициентов отдельных параметров опорной призмы. Показана необходимость учета погрешности центрирования заготовок в опорных призмах (погрешность установки в горизонтальном направлении вдоль оси  $OY$ ). Описаны недостатки задания точности V-образных пазов призм, используемых в стандартах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Польский, Е.А., Хандожко, А.В., Щербаков, А.Н., Федук, А.Г.** Обеспечение точности станочных узлов на базе унифицированных модулей с учетом контактной жесткости стыков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – №3(76). – С. 34-42.
2. **Польский, Е.А.** Обеспечение надежности высокотехнологичных сборочных узлов // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – №11(101). – С. 24-30.
3. **Польский, Е.А., Филькин, Д.М.** Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на этапах жизненного цикла на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации // Известия Юго-Западного государственного университета. Техника и технологии. – 2014. – №3. – С. 8-19.
4. **Польский, Е.А., Филькин, Д.М.** Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации // Научные технологии в машиностроении. – 2014. – №11(41). – С. 36-43.
5. **Ильицкий, В.Б.** Погрешности базирования и положения деталей в призмах / В.Б. Ильицкий, В.В. Ерохин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – №3. – С. 17-21.
6. **Суслов, А.Г., Ерохин, В.В., Говоров, И.В.** Параметры качества функциональных поверхностей призм // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2008. – №6. – С. 35-42.
7. **Филькин, Д.М.** Использование размерного анализа для оценки точности установки // В сб. «Инновационные технологии в машиностроении» / Эл. сб. материалов междунар. у.-тех. конф., посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета; под ред. В.К. Шелега, Н.Н. Попок. - 2018. - С. 133-137.
8. **Jinsong Gao, Kenneth W. Chase, Spencer P. Magleby.** Generalized 3-D tolerance analysis of mechanical assemblies with small kinematic adjustments // IE Transactions. 1998. Vol.30. – Pp.367-377.
9. **Дунаев, П.Ф.** Расчет допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 399 с.

## REFERENCES

1. **Polsky, E.A., Khandozhko, A.V., Shcherbakov, A.N., Fedukov, A.G.** Assurance of machine unit accuracy based on unified modules taking into account contact rigidity of joints // *Bulletin of Byansk State Technical University*. – 2019. – No.3 (76). – pp. 34-42.
2. **Polsky, E.A.** Assurance of high-tech sub-assembly reliability // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2019. – No.11(101). – pp. 24-30.
3. **Polsky, E.A., Filkin, D.M.** Technological support of assembly unit quality during life stages based on analysis of dimension ties taking into account operation // *Proceedings of South-Western State University. Engineering and Technologies*. – 2014. – No.3. – pp. 8-19.
4. **Polsky, E.A., Filkin, D.M.** Technological support of assembly unit quality based on dimension tie analysis taking into account operation // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No.11(41). – pp. 36-43.
5. **Ilyitsky, V.B.** Errors in basing and location of parts in prisms / V.B. Ilyitsky, V.V. Yerokhin // *Assemblage in Mechanical Engineering, Instrument Making*. – 2008. – No.3. – pp. 17-21.
6. **Suslov, A.G., Yerokhin, V.V., Govorov, I.V.** Quality parameters of prism functional surfaces // *Reference Book. Engineering Journal with Appendix*. – 2008. – No.6. – pp. 35-42.
7. **Filkin, D.M.** Dimension analysis use for estimate of installation accuracy // In Proceedings “Innovation Technologies in Mechanical Engineering” / *Proceedings of the Inter. Ed.-Tech. Conf. Dedicated to the 50<sup>th</sup> Anniversary of Polotsk State University*; under the editorship of V.K. Sheleg, N.N. Popok. – 2018. – pp. 133-137.
8. **Jinsong Gao, Kenneth W. Chase, Spencer P. Magleby.** Generalized 3-D tolerance analysis of mechanical assemblies with small kinematic adjustments // *IE Transactions*. 1998. Vol.30. – Pp.367-377.
9. **Dunaev, P.F.** *Computation of Dimension Tolerances* / P.F. Dunaev, O.P. Lelikov. – 4<sup>th</sup> Edition revised and supplemented. – M.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 399.

Рецензент д.т.н. А.Н. Унянин