

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ УСТАНОВКЕ ЗАГОТОВОК ПО ПЛОСКОСТИ И ДВУМ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫМ ЕЙ ОТВЕРСТИЯМ

М.Г. Степанов

max350.5@mail.ru

SPIN-код: 6449-8018

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Предложен способ расчета погрешности базирования в процессе обработки отверстий и поверхностей при установке заготовок по плоскости и двум перпендикулярным ей отверстиям. Рассмотрены возможные смещения заготовки и влияние положения обрабатываемого отверстия или поверхности на значение относительной и абсолютной погрешности базирования. Приведены формулы для расчета относительного и абсолютного значения погрешности базирования и чертежи возможного смещения заготовки. На основании полученных зависимостей были даны рекомендации для нахождения максимального значения погрешности базирования, в зависимости от нахождения обрабатываемого отверстия или поверхности относительно базовых отверстий заготовки.

### Ключевые слова

Определение погрешности базирования, базирование корпусных деталей, базирование по плоскости и двум отверстиям, обработка корпусных деталей, цилиндрический палец, ромбический палец, относительная погрешность, абсолютная погрешность

Поступила в редакцию 01.10.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

---

Установка заготовок по двум отверстиям и плоскости, перпендикулярной оси  $O$  отверстия, широко применяется при обработке деталей малых и средних размеров типа корпусов, плит, рам, рычагов, кронштейнов, шатунов [1]. Базирование приспособлений-спутников на позициях автоматических линий также осуществляется по этой схеме [2]. Частое использование данной схемы базирования объясняется ее преимуществами:

- лишение заготовки всех шести степеней свободы обеспечивает доступ инструмента к поверхностям заготовки с пяти сторон;
- такая схема базирования делает возможным соблюдение постоянства баз на большинстве операций технологического процесса;
- относительно простая конструкция приспособления позволяет достаточно просто и быстро фиксировать заготовки и приспособления-спутники на поточных и автоматических линиях.

*Погрешность базирования* — отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого [3]. Погрешности базирования можно определять расчетом геометрических связей принятой схемы базирования. Для этого анализируют точность обрабатываемых поверхно-

стей, их расположение и проводят перерасчет размеров и допусков, если это необходимо. Далее выбирают размер с наименьшим допуском и рассчитывают допустимую погрешность базирования с учетом суммы других погрешностей обработки (погрешности настройки, износа инструмента, неточностей станка и т. п.) и пространственных отклонений связанных поверхностей из-за погрешности установки по третьей координатной оси [4].

На рис. 1 представлена схема установки, для которой требуется определить погрешность базирования для размеров  $l_1-l_6$  при обработке отверстий 1–3. Настройка режущих инструментов выполняется от общей оси двух пальцев и оси перпендикулярной к ней (оси  $X$  и  $Y$ ). Направление силы закрепления прием перпендикулярно установочной плоскости для устранения влияния погрешности закрепления на обрабатываемые поверхности.

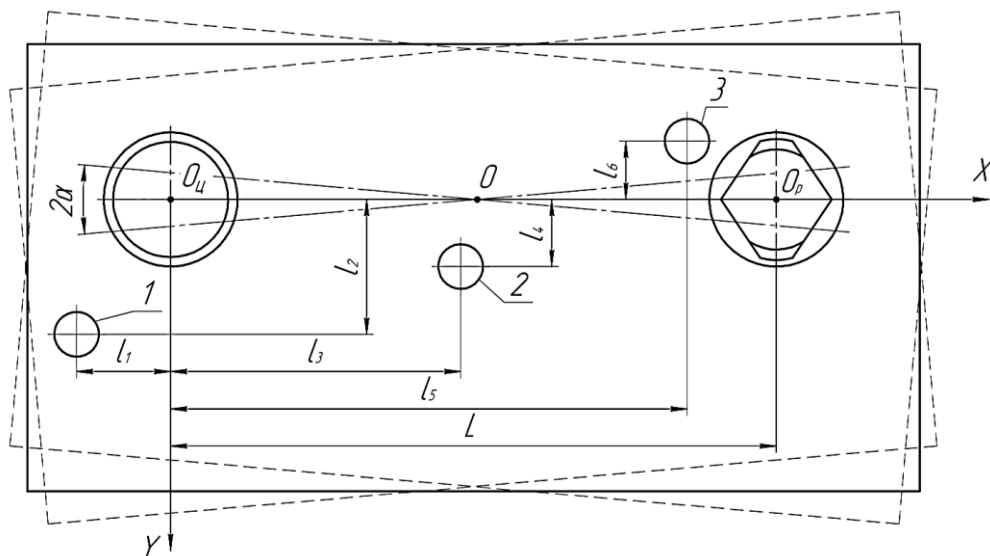
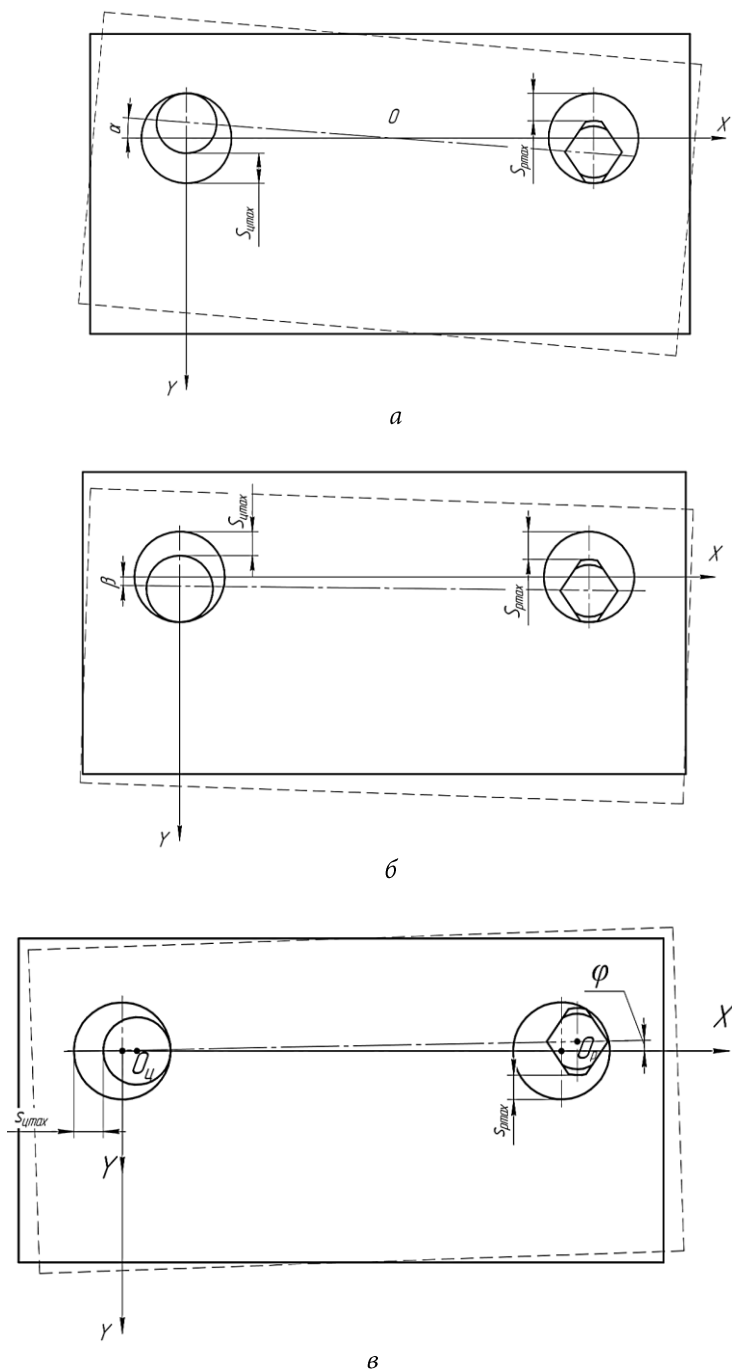


Рис. 1. Эскиз заготовки

При данной схеме базирования следует рассматривать следующие возможные варианты расположения заготовки относительно пальцев: поворот относительно центра  $O$  (рис. 2, а); сдвиг в одну сторону относительно общей оси пальцев (рис. 2, б); поворот по первому варианту одновременно со сдвигом вдоль оси  $X$  (рис. 2, в).

В общем случае погрешность базирования, возникающая в результате несовпадения технологической и конструкторской баз, определяется допусками размеров, связывающих конструкторские базы с осями  $X$  и  $Y$  заготовки (технологическими базами) и размером зазоров в сопряжениях пальцев с отверстиями [5].

Для обрабатываемых элементов детали, конструкторской базой которых являются оси  $X$ ,  $Y$ , множество погрешностей базирования заготовки, обусловленных зазорами в сопряжениях пальцев с отверстиями, в выбранной системе координат может быть выражено следующим образом (в проектных точностных расчетах принимают наибольшие из возможных погрешностей [6]).



**Рис. 2.** Фактическое положение заготовки:

*a* — при поворотах на пальцах; *б* — при сдвигах на пальцах вдоль оси *Y*;  
*в* — при сдвигах на пальцах вдоль оси *X*

Погрешность базирования по оси *X* для *i*-го обрабатываемого элемента (отверстие, плоскость, паз и т. п.) составляет

$$\varepsilon_{\delta x_i} = \max \left\{ \frac{S_{ц\max}}{2} + \frac{S_{п\max}}{2L} |y_i|, \alpha |y_i| \right\}, \quad (1)$$

где  $S_{ц\max}$ ,  $S_{п\max}$  — максимальные зазоры в сопряжениях отверстий детали с цилиндрическим и ромбическим пальцами соответственно;  $L$  — расстояние между осями пальцев;  $y_i$  — ордината обрабатываемой поверхности (для отверстия — ордината оси отверстия, для поверхности — ордината максимально удаленной точки поверхности);  $\alpha$  — наибольший угол поворота заготовки, град:

$$\alpha = \arctg \frac{S_{ц\max} + S_{п\max}}{2L} \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{S_{ц\max} + S_{п\max}}{2L}. \quad (2)$$

Максимальный зазор в сопряжении определяется по формуле

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}, \quad (3)$$

где  $D_{\max}$  — наибольший диаметр отверстия;  $d_{\min}$  — наименьший диаметр пальца.

При условии, что точность отверстий приблизительно равна, так же как и точность пальцев, т. е.  $S_{ц\max} \approx S_{п\max} = S_{\max}$ , согласно формуле (2) получим

$$\frac{S_{п\max}}{2L} \approx \frac{\alpha}{2}. \quad (4)$$

Тогда с учетом принятых упрощений условие (1) можно записать в виде

$$\varepsilon_{\delta x_i} = \max \left\{ \frac{S_{ц\max}}{2} + \frac{\alpha}{2} |y_i|, \alpha |y_i| \right\}. \quad (5)$$

Погрешность базирования по оси  $Y$  для  $i$ -го обрабатываемого элемента

$$\varepsilon_{\delta y_i} = \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha |x_i - x_0|; \\ \frac{S_{ц\max}}{2} + \beta x_i \text{ при } S_{ц\max} < S_{п\max}; \\ \frac{S_{ц\max}}{2} - \beta x_i \text{ при } S_{ц\max} > S_{п\max}, \end{array} \right\} \quad (6)$$

где  $x_i$  — абсцисса  $i$ -го элемента (абсцисса оси отверстия или наиболее удаленной точки поверхности);  $x_0$  — абсцисса центра поворота заготовки,

$$x_0 = O_{ц} O = \frac{S_{ц\max}}{S_{ц\max} + S_{п\max}} L, \quad (7)$$

$\beta$  — угол поворота (см. рис. 2, б) при наибольших сдвигах заготовки, рад,

$$\beta = \frac{|S_{ц\ max} - S_{п\ max}|}{2L}. \quad (8)$$

При условии  $S_{ц\ max} \approx S_{п\ max} = S_{max}$  выражение (7) примет вид

$$\varepsilon_{\delta y_i} = \max \left\{ \alpha |x_i - x_0|, \frac{S_{max}}{2} \right\}. \quad (9)$$

Погрешность базирования по каждому параметру, рассчитанная по формулам (1)–(9), должна удовлетворять условию [7]

$$\begin{cases} \varepsilon_{i_1} \leq T_1 - \omega_1; \\ \dots \\ \varepsilon_{i_n} \leq T_n - \omega_n, \end{cases} \quad (10)$$

где  $T_i$  — допуск на размер;  $\omega_i$  — точность обработки на данной операции.

Система неравенств (10) позволяет определить, возможно ли достижение заданной точности размеров поверхностей, подлежащих обработке. На этом этапе принимают решение об отказе обработки некоторых поверхностей с использованием данной схемы установки заготовки. Из оставшихся значений погрешностей базирования выбирают наибольшие, по которым и будут рассчитываться конструктивные параметры приспособления на следующем этапе [8].

Абсолютное значение погрешности базирования находят по формуле

$$\varepsilon_{\delta} = \sqrt{\varepsilon_{\delta x_i}^2 + \varepsilon_{\delta y_i}^2}. \quad (11)$$

Заметим, что в зависимости от расположения обрабатываемой поверхности относительно осей пальцев, большее влияние на погрешность базирования может оказывать как поворот, так и сдвиг заготовки.

Из выражения (1) найдем зависимость погрешности базирования от расположения относительно осей пальцев:

– погрешность базирования, вызванная сдвигом заготовки относительно осей пальцев,

$$\frac{S_{ц\ max}}{2} + \frac{S_{п\ max}}{2L} |y_i|; \quad (12)$$

– погрешность базирования, вызванная поворотом заготовки относительно точки  $O$ ,

$$\frac{S_{ц\ max} + S_{п\ max}}{2L} |y_i|. \quad (13)$$

Найдем разность выражений (12) и (13):

$$\frac{S_{ц\ max}}{2} + \frac{S_{п\ max}}{2L}|y_i| - \frac{S_{ц\ max}}{2L}|y_i| - \frac{S_{п\ max}}{2L}|y_i| = \frac{S_{ц\ max}}{2L} - \frac{S_{п\ max}}{2L}|y_i|. \quad (14)$$

Значение выражения (14) будет отрицательным в случае, когда наибольшее влияние на погрешность базирования относительно оси X будет оказывать поворот заготовки.

Следовательно, при  $|y_i| > L/2$  наибольшее значение на погрешность базирования относительно оси X будет оказывать поворот заготовки.

Аналогично погрешность базирования относительно оси Y при обработке поверхности, находящейся за пределами осей пальцев, будет большей в случае поворота заготовки, а при обработке поверхности находящейся между осей пальцев — большей в случае сдвига.

Погрешность базирования поверхностей, координированных от других элементов детали, т. е. поверхностей, конструкторскими базами которых оси X и Y не являются, можно определить как сумму двух составляющих: первая — погрешность расположения самой конструкторской базы относительно осей X, Y, т. е. погрешность базирования, которую имела бы рассматриваемая поверхность (в данном случае она является конструкторской базой) относительно технологических баз X, Y, вызванная конструкцией приспособления, не обеспечивающей совмещения конструкторских и технологических баз; вторая — погрешность расположения обрабатываемой поверхности относительно конструкторских баз детали [9].

Первая составляющая находится как погрешность базирования из выражений (1)–(10), вторая составляющая определяется из анализа чертежа детали либо непосредственно, либо путем решения размерной цепи, состоящей из размеров, связывающих конструкторскую базу с осями X, Y заготовки.

На основе полученных зависимостей можно сделать следующие выводы.

1. Погрешность базирования размера относительно оси Y зависит от отношения  $S_{ц\ max}$  и  $S_{п\ max}$ , а также от расположения оси обрабатываемой поверхности относительно осей пальцев.

2. Для обрабатываемых поверхностей, лежащих за пределами осей  $O_{ц} O_{п}$ , максимальная погрешность будет наблюдаться в результате поворота заготовки, а для элементов в пределах  $O_{ц} O_{п}$  максимальная погрешность наблюдается в случае сдвигов заготовки.

3. Для обрабатываемых поверхностей, находящихся вблизи точки O ( $x_i \approx x_0$ ;  $y_i \approx 0$ ), погрешность базирования будет равна половине максимального зазора в сопряжениях отверстий детали с пальцами.

## Литература

- [1] Брылев А.В., Савельева Л.В. Анализ вариантов обработки сложнопровильной поверхности детали типа тела вращения на примере колёсной пары. *Инженерный вестник*, 2012, № 11. URL: <http://ainjournal.ru/doc/513889.html>
- [2] Албагачиев А.Ю., Краско А.С., Ильинский М.Д. и др. Современные методы диагностики и компенсации погрешностей станков с ЧПУ. *Естественные и технические науки*, 2018, № 1(115), с. 113–115.
- [3] Савельева Л.В., Брылев А.В., Егорова О.О. Анализ осевого положения заготовки в центрах. *Главный механик*, 2016, № 6, с. 56–59.
- [4] Савельева Л.В., Соловьёв А.И., Джафарова Ш.И. и др. Особенности определения погрешности базирования при установке заготовок в призмы. *Главный механик*, 2019, № 12, с. 47–51.
- [5] Савельева Л.В., Павлов Е.Н. Анализ схемы базирования заготовки при установке в центрах. *Главный механик*, 2015, № 7, с. 60–62.
- [6] Савельева Л.В., Брылев А.В., Басов И.М. и др. Осевое смещение заготовки при базировании в центрах. *Справочник. Инженерный журнал с приложением*, 2017, № 10, с. 8–10. DOI: <https://doi.org/10.14489/hb.2017.10.pp.008-010>
- [7] Савельева Л.В., Вендин И.О. Влияние режимов резания на величину износа передней поверхности инструмента при механической обработке заготовок. *Вестник МАИ*, 2019, т. 26, № 4, с. 209–215.
- [8] Савельева Л.В., Брылев А.В. Погрешность формы тонкостенной заготовки при закреплении. *Главный механик*, 2015, № 10, с. 30–34.
- [9] Савельева Л.В., Зайцев А.В. Технологичность конструкции призматической детали с окном. *Главный механик*, 2015, № 5-6, с. 76–78.

**Степанов Максим Геннадиевич** — студент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Савельева Любовь Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Степанов М.Г. Определение допустимой погрешности базирования при установке заготовок по плоскости и двум перпендикулярным ей отверстиям. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 10(51). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-10-648>

---

**DETERMINATION OF PERMISSIBLE POSITIONING ERROR WHEN LOCATING BLANKS ALONG A PLANE AND TWO PERPENDICULAR HOLES**

M.G. Stepanov

max350.5@mail.ru

SPIN-code: 6449-8018

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The paper is devoted to a method for calculating the positioning error in the process of machining holes and surfaces when locating blanks along a plane and two perpendicular holes. Possible blank displacements and the influence of the position of the machined hole or surface on the value of relative and absolute positioning errors are considered. Formulas are given for calculating the relative and absolute values of the positioning error and drawings of the possible displacement of the blank. Based on the obtained dependencies, recommendations were given for finding the maximum value of the positioning error, depending on the location of the hole or surface being machined relative to the base holes of the blank.

**Keywords**

Determination of the locating error, locating body parts, locating along a plane and two holes, processing body parts, cylindrical pin, rhombic pin, relative error, absolute error

Received 01.10.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

**References**

- [1] Brylev A.V., Savel'yeva L.V. Analysis of processing variants for complex shape part surface such as a rotary body exemplified by wheel pair. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2012, no. 11. URL: <http://ainjournal.ru/doc/513889.html> (in Russ.).
- [2] Albagachiev A.Yu., Krasko A.S., Il'inskiy M.D., et al. Modern diagnostics and compensation methods for CNC machines. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki*, 2018, no. 1(115), pp. 113–115 (in Russ.).
- [3] Savel'yeva L.V., Brylev A.V., Egorova O.O. Analysis of axial position of the blank in bench centres. *Glavnyy mekhanik* [Chief Mechanical Engineer], 2016, no. 6, pp. 56–59 (in Russ.).
- [4] Savel'yeva L.V., Solov'yev A.I., Dzhafarova Sh.I., et al. Features of determining the locating error when placing workpieces in V-block. *Glavnyy mekhanik* [Chief Mechanical Engineer], 2019, no. 12, pp. 47–51 (in Russ.).
- [5] Savel'yeva L.V., Pavlov E.N. Analysing the scheme of blank location when placing it in the centres. *Glavnyy mekhanik* [Chief Mechanical Engineer], 2015, no. 7, pp. 60–62 (in Russ.).
- [6] Savel'yeva L.V., Brylev A.V., Basov I.M., et al. Axial displacement workpiece for basing with centers. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem* [Handbook. An Engineering Journal with Appendix], 2017, no. 10, pp. 8–10. DOI: <https://doi.org/10.14489/hb.2017.10.pp.008-010> (in Russ.).
- [7] Savel'yeva L.V., Vendin I.O. Cutting conditions effect on tool front surface wear rate while workpieces machining. *Vestnik MAI* [Aerospace MAI Journal], 2019, vol. 26, no. 4, pp. 209–215 (in Russ.).



- [8] Savelyeva L.V., Brylev A.V. Shape error in thin-walled blank during fixation. *Glavnyy mekhanik* [Chief Mechanical Engineer], 2015, no. 10, pp. 30–34 (in Russ.).
- [9] Savelyeva L.V., Zaytsev A.V. Design producibility of prismatic part with window. *Glavnyy mekhanik* [Chief Mechanical Engineer], 2015, no. 5-6, pp. 76–78 (in Russ.).

**Stepanov M.G.** — Student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Savelyeva L.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Stepanov M.G. Determination of permissible positioning error when locating blanks along a plane and two perpendicular holes. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 10(51). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-10-648.html> (in Russ.).