

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.9
doi: 10.30987/2782-5957-2023-1-24-34

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ УСТАНОВКЕ НА ДВЕ ОПОРНЫЕ ПРИЗМЫ С УЧЕТОМ ПО- ГРЕШНОСТИ ФОРМЫ И МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ

Дмитрий Михайлович Филькин^{1✉}, Евгений Александрович Польский²

^{1,2} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ filkin.dm@mail.ru

² polski.eugene@hotmail.com

Аннотация

Цель исследования: разработка приспособлений для высокоточной обработки деталей машин. Задача, решению которой посвящена статья: анализ совместного влияния опорных призм на точность базирования заготовок. Методы исследования: моделирование контакта заготовки с опорными призмами при помощи теории размерных связей, регрессионный анализ результатов моделирования установки заготовок в опорных призмах. Новизна работы: рассмотрено формирование погрешности базирования заготовки при ее установке на приспособление с двумя опорными призмами и случайном распределении параметров точности базовых поверхностей. Результаты исследования: разработана

модель самоустановки заготовки на две опорные призмы и получены зависимости для оценки погрешности базирования заготовки с учетом нормального распределения значений параметров точности в пределах их допусков. Выводы: учет вероятности распределения значений параметров точности базовых поверхностей в пределах допусков уменьшает значения погрешности базирования заготовок, что дает возможность обоснованно снижать требования к точности приспособлений.

Ключевые слова: точность, погрешность, макроотклонения, допуски, формы, анализ, опорные призмы.

Ссылка для цитирования:

Филькин Д.М. Анализ погрешности базирования заготовки при установке на две опорные призмы с учетом погрешности формы и месторасположения / Д.М. Филькин, Е.А.Польский // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 01. – С. 24 – 34. doi: 10.30987/2782-5957-2023-1-24-34.

Original article
Open Access Article

ANALYSIS OF THE WORKPIECE ERROR OF LOCATING WHEN INSTALLED ON TWO LOCATION VEES, TAKING INTO ACCOUNT THE ERROR OF SHAPE AND LOCATION

Dmitry Mikhailovich Filkin^{1✉}, Yevgeniy Aleksandrovich Polsky²

^{1,2} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ filkin.dm@mail.ru

² polski.eugene@hotmail.com

Abstract

The study objective is the development of devices for high-accuracy machining of machine parts. The problem to which the article is devoted is the analysis of the joint influence of location vees on the accuracy of workpiece locating. Research methods: modeling the contact of the workpiece with the location vees using the theory of dimensional connections, regression analysis of modeling results of installing workpieces in the location vees. The novelty

of the work: the formation of the workpiece error of locating when it is installed on a device with two location vees and a random distribution of the accuracy parameters of the base surfaces is considered. Study results: a model of self-installation of the workpiece on two location vees is developed and dependences are obtained for estimating the workpiece error of locating, taking into account the normal distribution of accuracy parameter values within their tolerances. Conclusions:

taking into account the probability of distribution of the values of base surface accuracy parameters within the tolerances reduces the values of the workpiece error of locating, which makes it possible to reduce the

Reference for citing:

Filkin DM, Polsky EA. Analysis of the workpiece error of locating when installed on two location vees, taking into account the error of shape and location. Transport Engineering. 2023; 1:24-34. doi: 10.30987/2782-5957-2023-1-24-34.

Введение

Опорные призмы широко используются для установки заготовок в процессе их обработки или для контроля точности готовых деталей. Базовой поверхностью призмы является точный v-паз, на который заготовка устанавливается своей цилиндрической поверхностью.

Погрешность базирования ε_b , определяемая как отклонение фактического положения заготовки от требуемого положения, формируется вариацией случайных размерных параметров базовой поверхности заготовки, находящейся в контакте с установочными элементами приспособления. В справочниках по технологии машиностроения для определения погрешности базирования приводятся упрощенные зависимости, которые учитывают только допуск базовой цилиндрической поверхности заготовки и угол v-паза призмы. В научных работах можно найти зависимости, учиты-

Материалы, модели, эксперименты и методы

При размещении заготовки на призме происходит ее самоустановка с образованием контактов по обеим сторонам v-паза. Без учета погрешностей формы и взаимного положения поверхностей заготовки призма считается самоцентрирующим установочным элементом, позволяющим центрировать вертикальную плоскость симметрии базовой поверхности заготовки. Наличие погрешностей формы и месторасположения поверхностей заготовки приводит к изменению размерных связей в контакте и смещению оси заготовки в горизонтальном направлении (рис. 1).

Для моделирования погрешностей формы базовых поверхностей в поперечном сечении и наличия несоосности между базовыми и функциональными поверхностями заготовки использована модель поверхности в виде тригонометрического по-

requirements for the accuracy of the devices reasonably.

Keywords: accuracy, error, macro-deviations, tolerances, shapes, analysis, location vees.

вающие дополнительные параметры: погрешность формы и месторасположения базовых и обрабатываемых поверхностей, точность изготовления и наладки призм [1-5]. В тоже время в этих работах обычно приводятся зависимости для получения предельных значений погрешности базирования или упрощенно вводится вероятностный коэффициент для учета распределения размеров в поле допуска.

Более точный учет вероятности распределения размеров и других параметров точности в пределах их допусков позволяет рационально проектировать станочные приспособления и выполнять оценку точности технологических операций. В данной работе выполняется исследование точности базирования заготовки на две жесткие узкие призмы с учетом погрешности формы и месторасположения базовых поверхностей заготовки.

линома [6, 7].

$$r(\varphi) = \frac{d}{2} + \sum_{k=1}^n M_k \cos(k\varphi + \varphi_k), \quad (1)$$

где $r(\varphi)$ – переменный радиус заготовки; φ – угловая координата; d – диаметр базовой поверхности заготовки; M_k – отклонения формы k -й гармоники, n – порядковый номер высшей гармоники; φ_k – начальный фазовый угол k -й гармоники.

Используемая модель позволяет моделировать макроотклонения заготовки, устанавливаемой на призму. Задавая случайные значения параметров d , M_k и φ_k можно моделировать контакт случайной заготовки с призмой. Вариация параметра d характеризует случайное значение диаметра заготовки в пределах установленного допуска. Вариация M_1 и φ_{M1} – случайные значения расстояния между центром базовой поверхности и центром функциональ-

ной поверхности заготовки (допуск соосности), вариации более высоких порядков характеризуют отклонения от круглости базовой поверхности заготовки (M_2 и φ_{M2} – овальность сечения, M_3 и φ_{M3} – огранку с тремя вершинами и т. д.) [7].

Определение погрешности базирования выполняется при помощи анализа размерных цепей, формирующихся в процессе контакта заготовки с установочными элементами приспособления (рис. 1).

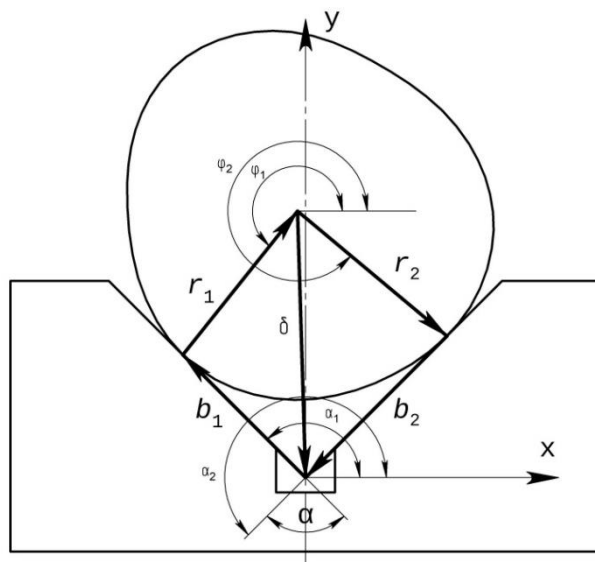


Рис. 1. Размерная схема установки заготовки
Fig. 1. Dimension loops of self-alignment of a workpiece

Здесь r_1, r_2 – радиус-векторы к точкам контакта заготовки с базовыми поверхностями призмы; b_1, b_2 – векторы, определяющие точки контакта относительно призмы; δ – вектор, определяющий фактиче-

ское положение центра заготовки.

При самоустановке заготовки в узкой жесткой призме формируется система размерных уравнений [7]:

$$\begin{cases}
 r_1 = 0,5d + M_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_{M1}) + M_2 \cos(2\varphi_1 + \varphi_{M2}) + M_3 \cos(3\varphi_1 + \varphi_{M3}); \\
 r_2 = 0,5d + M_1 \cos(\varphi_2 + \varphi_{M1}) + M_2 \cos(2\varphi_2 + \varphi_{M2}) + M_3 \cos(3\varphi_2 + \varphi_{M3}); \\
 b_1 \cos \alpha_1 + r_1 \cos(\varphi_1 + \pi) + r_2 \cos \varphi_2 + b_2 \cos \alpha_2 = 0; \\
 b_1 \sin \alpha_1 + r_1 \sin(\varphi_1 + \pi) + r_2 \sin \varphi_2 + b_2 \sin \alpha_2 = 0; \\
 b_1 \cos \alpha_1 + r_1 \cos(\varphi_1 + \pi) = \delta_x; \\
 b_1 \sin \alpha_1 + r_1 \sin(\varphi_1 + \pi) = \delta_y; \\
 \frac{r'_1 \sin \varphi_1 + r_1 \cos \varphi_1}{r'_1 \cos \varphi_1 - r_1 \sin \varphi_1} = \frac{1}{2}(\pi + \alpha); \\
 \frac{r'_2 \sin \varphi_2 + r_2 \cos \varphi_2}{r'_2 \cos \varphi_2 - r_2 \sin \varphi_2} = \frac{1}{2}(\pi - \alpha); \\
 r'_1 = -M_1 \sin(\varphi_1 + \varphi_{M1}) - 2M_2 \sin(2\varphi_1 + \varphi_{M2}) - 3M_3 \sin(3\varphi_1 + \varphi_{M3}); \\
 r'_2 = -M_1 \sin(\varphi_2 + \varphi_{M1}) - 2M_2 \sin(2\varphi_2 + \varphi_{M2}) - 3M_3 \sin(3\varphi_2 + \varphi_{M3}).
 \end{cases} \quad (2)$$

Используя систему уравнений (2), можно определить координаты точек контактов (φ_1, r_1) и (φ_2, r_2) заготовки с одной узкой призмой и смещение центра базовой поверхности заготовки δ . Здесь δ_x – сме-

щение центра вдоль горизонтальной оси (т. е. погрешность центрирования призмы), а δ_y – смещение центра вдоль вертикальной оси.

Для выполнения установки длинных

заготовок могут использовать две узкие жесткие призмы (рис. 2). Такая схема установки позволяет получить двойную направляющую базу. В этом случае самоустановка заготовки происходит по четы-

рем базовым поверхностям v-пазов призм. Для каждой опорной призмы необходимо найти смещение центра соответствующей базовой поверхности заготовки (δ_1 и δ_2).

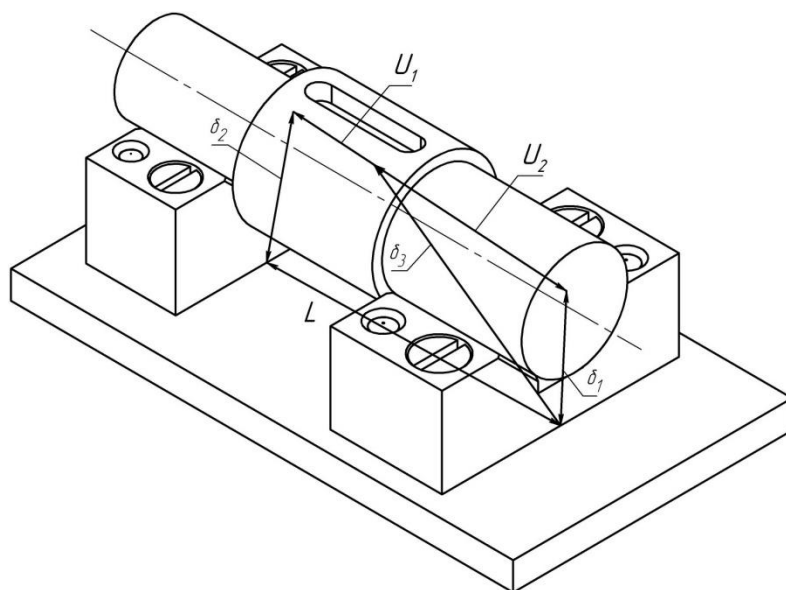


Рис. 2. Размерная схема установки заготовки на две призмы
 Fig. 2. Dimension loops of self-alignment of a workpiece on two v-blocks

В результате формируются четыре размерные цепи: две цепи, описывающие самоустановку базовой поверхности заготовки с каждой из призм приспособления; цепь, описывающая положение всей заготовки с учетом особенностей самоустановки на две призмы; и цепи, описывающей положение функциональной поверхности заготовки (обрабатываемой или контролируемой). В векторной форме эти две последние цепи можно представить следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \vec{\delta}_1 + \vec{U}_1 + \vec{\delta}_2 + \vec{L} = 0; \\ \vec{\delta}_1 + \vec{U}_2 = \vec{\delta}_3. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь δ_1, δ_2 – векторы, характеризующие смещения центров базовых поверхностей заготовки, устанавливаемых на призмы; δ_3 – вектор, характеризующий смещение рассматриваемой функциональной поверхности детали; L – вектор, характеризующий расстояние между номинальными центрами опорных призм; U_1 – вектор, характеризующий расстояние между фактическими центрами базовых поверхностей заготовки; U_2 – вектор, характеризующий фактическое положение рассмат-

риваемой функциональной поверхности детали.

Система размерных уравнений (3) решается относительно параметра δ_3 . Векторы δ_1 и δ_2 определяются при решении системы размерных уравнений (2) независимо друг от друга и от системы размерных уравнений (3). Решение системы можно упростить, используя дополнительные размерные уравнения. Например, можно учитывать коллинеарность векторов U_1 и U_2 , а при определении положения функциональной поверхности U_2 задавать проекцию на ось z .

Случайные значения параметров заготовки ($d, M_1, M_2, M_3, \varphi_{M1}, \varphi_{M2},$ и φ_{M3}) формируют совокупность случайных значений смещения центра δ_3 . Используя значения смещения центра δ_3 , можно оценить погрешность базирования заготовки ε_δ , установленной на двух узких призмах, а также сравнить погрешность базирования коротких заготовок на одну призму с базированием длинных заготовок на две призмы.

Для моделирования случайного распределения параметров точности базовых

поверхностей заготовки в пределах своих допусков используется выборка случайных значений параметров. Размер выборки определяет точность оценки погрешности базирования ε_6 . Для оценки точности погрешности базирования ε_6 используется расчет доверительного интервала среднего квадратического отклонения σ положения центра заготовки:

$$\sqrt{\frac{nS^2}{\chi_{1-\beta, n-1}^2}} < \sigma < \sqrt{\frac{nS^2}{\chi_{\alpha, n-1}^2}},$$

Результаты

Для моделирования установки заготовки на две опорные призмы выбраны следующие исходные значения параметров [7]:

- номинальный диаметр базовых поверхностей заготовки $d = 50$ мм с допуском $T_d = 0,25$ мм (12 квалитет), при этом значение диаметра d варьируется в диапазоне $50 \pm 0,125$ мм;

- допуск соосности $T_{\odot} = T_{M1}$ не более 0,1 мм (11 степень точности);

- допуск круглости $T_{\circ} = T_{M2} = T_{M3}$ не более 0,08 мм (11 степень точности);

- начальные фазовые углы φ_{M1} , φ_{M2} и φ_{M3} модели изменяются в диапазонах $[0, 2\pi]$, $[0, 4\pi]$ или $[0, 6\pi]$ соответственно.

- номинальное положение функциональной поверхности определяется на $c/2$ (посередине).

Случайные значения диаметров базовых поверхностей d , погрешностей их формы M_2 и M_3 , а также значения несоосности базовых и функциональных поверхностей заготовки M_1 в пределах своих допусков моделируются нормальным распределением. Фактические размеры базовых поверхностей заготовки $r(\varphi)$ с учетом погрешностей формы остаются в пределах общего допуска на размер T_d за счет использования специальной процедуры коррекции. Случайные значения начальных фазовых углов φ_{M1} , φ_{M2} , и φ_{M3} макроотклонений моделируются равномерным распределением.

Для качественного анализа разработанной модели погрешности базирования

где $\chi_{q, n-1}^2$ – квантиль уровня q для χ^2 -распределения с $n-1$ степенями свободы.

Необходимый размер выборки для определения погрешности базирования с заданной точностью определяется в несколько этапов. На первом этапе задается предварительный размер выборки и определяется величина доверительного интервала. Если точность оценки погрешности базирования оказывается недостаточной, то размер выборки может быть увеличен.

заготовок ε_6 в призмах вычислялись смещения центра базовой поверхности заготовки с последующим построением точечных диаграмм [8, 7]. Смещения центра базовой поверхности заготовок, установленной на одну из призм показаны на рис. 3. На полученных точечных диаграммах хорошо видны изменения положения центра базовой поверхности заготовки в вертикальном направлении δ_y из-за изменений фактического размера d . Влияние значений несоосности M_1 и погрешности формы в поперечном сечении M_2 и M_3 (показано с сортировкой по фактическим значениям M_2) на положение центра заметно в меньшей степени: при увеличении значений макроотклонений смещение оси базовой поверхности варьируется в большем диапазоне значений.

Сравнение аналогичных точечных диаграмм, построенных на значениях смещения центра функциональной поверхности (рис. 4) показывает снижение влияния отдельных параметров на погрешность базирования ε_6 . При установке заготовки на две жесткие узкие призмы и определении погрешности базирования ε_6 значительное влияние на фактическое смещение заготовки δ_3 оказывают случайные значения начальных фазовых углов макроотклонений. Вероятность одновременного наступления «наихудших» значений всех параметров невелика, что позволяет обоснованно уменьшить расчетное значение погрешности базирования ε_6 .

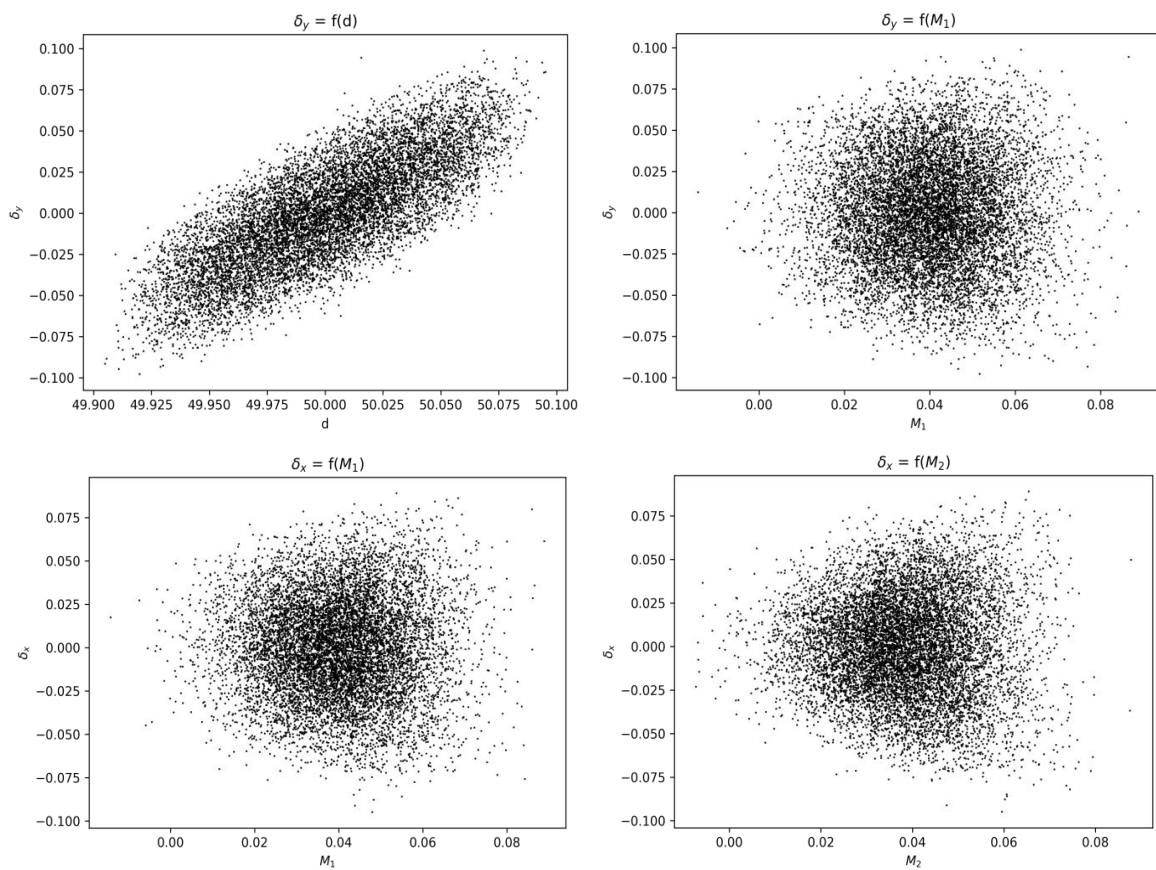


Рис. 3. Смещение заготовки вследствие изменения факторов d , M_1 , M_2 и M_3 при установке на одну призму
 Fig. 3. Adjustments of workpiece due to d , M_1 , M_2 and M_3 variations when mounted on a single v-block

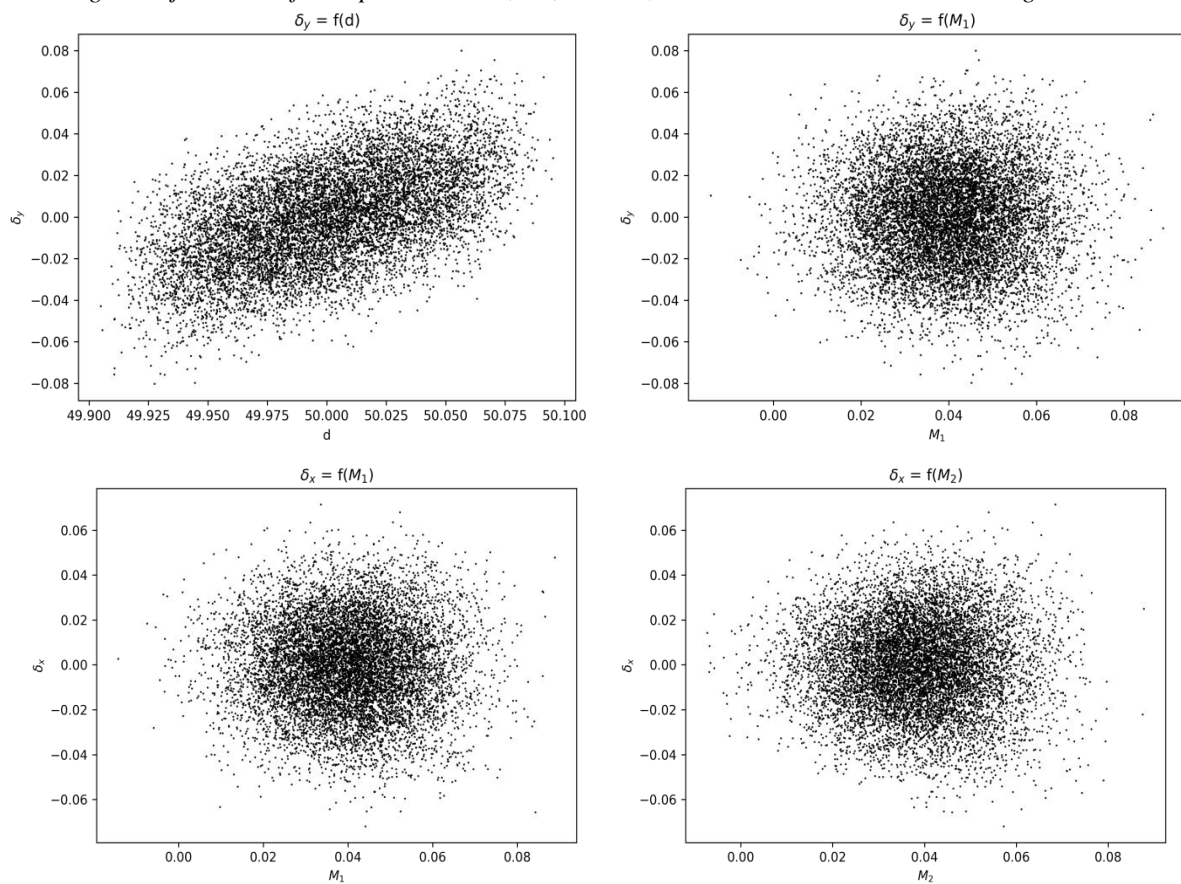


Рис. 4. Смещение заготовки вследствие изменения факторов d , M_1 , M_2 и M_3 при установке на две призмы
 Fig. 4. Adjustments of workpiece due to d , M_1 , M_2 and M_3 variations when mounted on two v-blocks

Регрессионный анализ данных, полученных после выполнения полнофакторного машинного эксперимента, позволил получить уравнения регрессии для определения погрешности базирования заготовки. При установке заготовки на одну узкую призму (или на две призмы с положением функциональной поверхности непосредственно над призмой) погрешность базирования в вертикальном направлении ε_{by} и в горизонтальном направлении ε_{bx} можно определить по уравнениям (4) и (5):

$$\varepsilon_{by} = 0,559T_d + 0,885T_{\odot} . \quad (4)$$

Параметры регрессионной модели:
 $r^2 = 0,986, r^2_a = 0,984, F = 449, pValue = 0.$

$$\varepsilon_{bx} = 0,863T_{\odot} + 1,727T_{\circ} . \quad (5)$$

Параметры регрессионной модели:
 $r^2 = 0,982, r^2_a = 0,979, F = 352, pValue = 0.$

При установке заготовки на две узкие жесткие призмы и положении функциональной поверхности между призмами погрешность базирования определяется по уравнениям (6) и (7):

$$\varepsilon_{by} = 0,230(T_{d1} + T_{d1}) + 0,301(T_{\odot 1} + T_{\odot 2}). \quad (6)$$

Параметры регрессионной модели:

$$r^2 = 0,98, r^2_a = 0,972, F = 133, pValue = 3,1 \cdot 10^{-9}.$$

$$\varepsilon_{bx} = 0,285(T_{\odot 1} + T_{\odot 2}) + 0,679(T_{\circ 1} + T_{\circ 2}). \quad (7)$$

Параметры регрессионной модели: $r^2 = 0,97, r^2_a = 0,959, F = 89, pValue = 2,6 \cdot 10^{-8}.$

Обсуждение

Сравнение результатов, полученных для функциональной поверхности, расположенной над одной из призм и функциональной поверхности, расположенной между призмами, показывает существенное отличие в значениях погрешности базирования. При расположении места обработки над призмой, влияние второй призмы сводится к нулю, то есть равносильно использованию одной призмы для базирования. При совместном влиянии двух призм на фактическое положение места обработки вероятность получения пре-

дельных смещений снижается (рис. 5), так как для максимальных значений смещения оси требуется согласованное смещение на обеих призмах. Например, максимальные значения диаметров базовых поверхностей заготовки на обоих призмах приводят к большим смещениям места обработки в верхнее положение и, наоборот, минимальные значения базовых диаметров заготовки приводят к большим смещениям функциональной поверхности в нижнее положение.

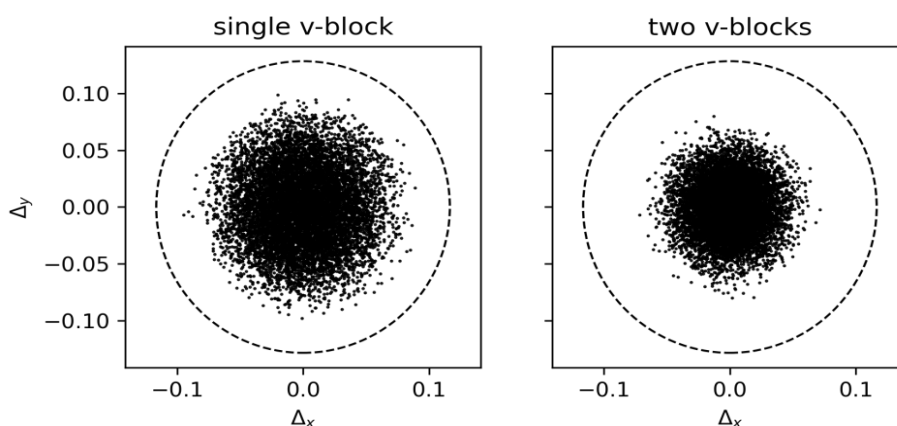


Рис. 5. Случайные положения центра заготовки при установке на призмы
 Fig. 5. Random workpiece center positions when mounted on a v-block

Максимальную погрешность базирования заготовки, устанавливаемую на две узкие призмы, при положении места

обработки между технологическими базами можно определить по формуле [1]:

$$\varepsilon_6 = \frac{b}{c}(\varepsilon_6^6 - \varepsilon_6^M) + \varepsilon_6^M.$$

Здесь b – расстояние наиболее удаленной точки места обработки от базы с наименьшей погрешностью, мм; c – расстояние между базами, мм; ε_6^6 и ε_6^M – погрешность базирования технологической базы с большей и меньшей величиной погрешности соответственно, мм.

Формула показывает пропорциональный вклад каждой из призм в погрешность базирования ε_6 заготовки. Чем ближе место обработки находится к одной из призм, тем больший вклад в погрешность базирования она вносит.

Вклад второй призмы, наоборот, пропорционально снижается.

Учет вероятности распределения размеров, параметров формы и месторасположения в пределах их допусков показывает снижение погрешности базирования за счет случайного распределения фактических значений этих параметров (рис. 6). Из диаграмм видно, что фактическая погрешность базирования будет ниже, и наименьшие значения наблюдаются на расстоянии $b/c = 0,5$ (т.к. при расчетах параметры точности опорных призм и базовых поверхностей заготовки принимались одинаковыми).

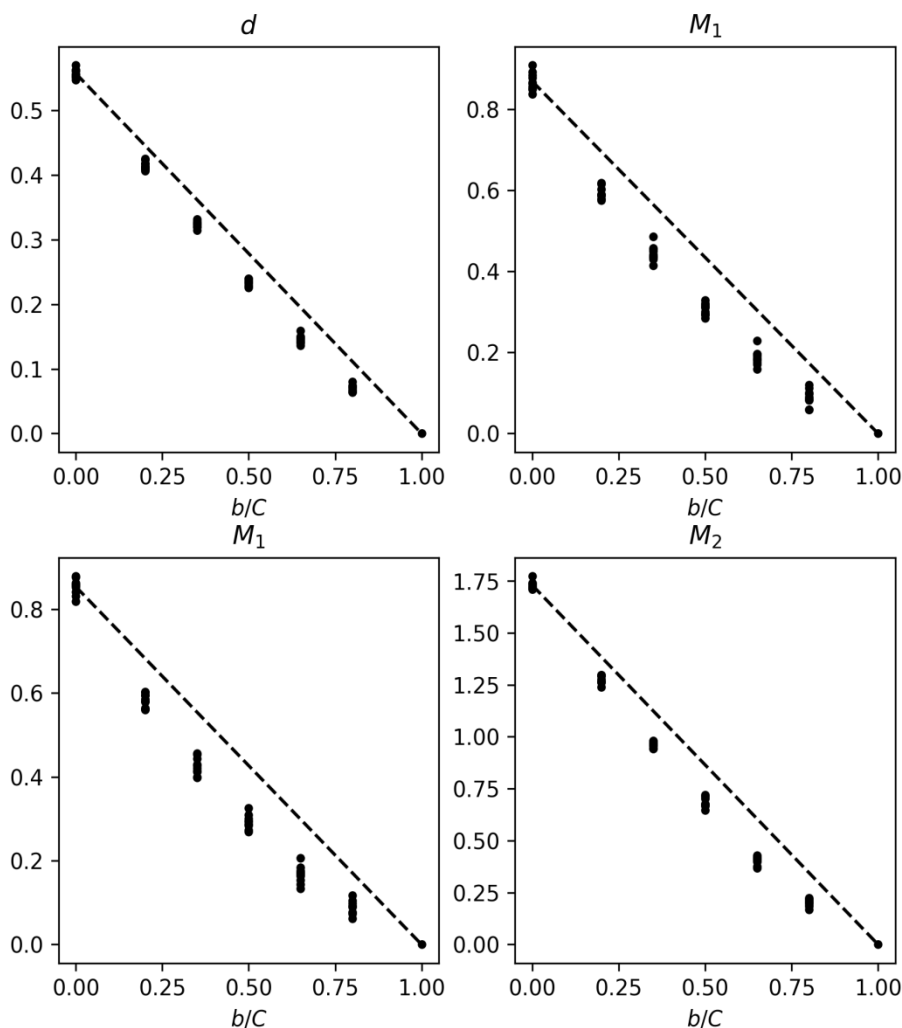


Рис. 6. Взаимное влияние призм на погрешность базирования
Fig. 6. Mutual influence of v-blocks on error location

Снижение погрешности базирования зависит от вида параметра и размера выборки n для моделирования допусков параметров. На рис. 7 показаны значения отношения коэффициентов регрессии модели

для расчета погрешности базирования при установке на две призмы к аналогичным коэффициентам регрессии при установке на одну призму. Точность обеих базовых поверхностей заготовки принималась одинаковой.

наковой, место положения функциональной поверхности – половина расстояния между призмами. На этих диаграммах

также хорошо видно, что вклад каждой из опорных призм снижается в 2,5...3 раза.

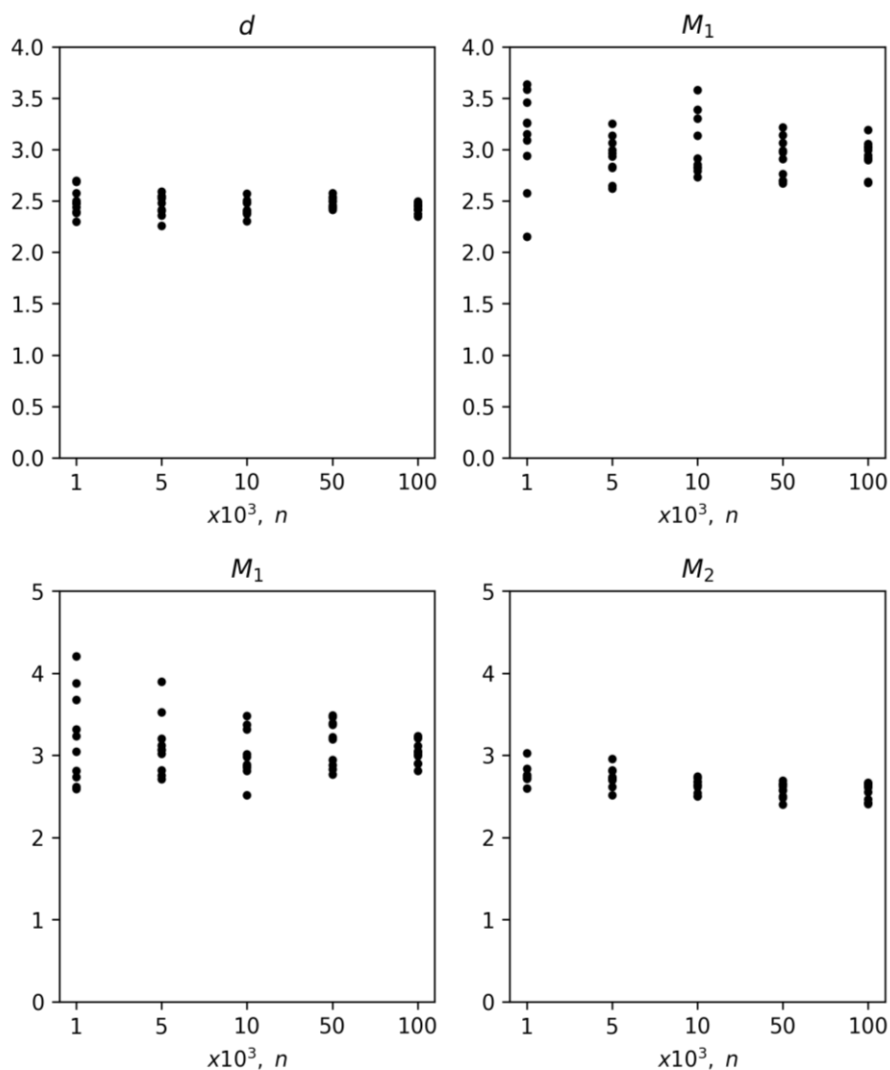


Рис. 7. Отношения коэффициентов регрессии модели при установке на одну и две призмы
 Fig. 7. Model regression coefficient relationships when mounted on a single v-block and on two v-blocks

Определение погрешности базирования при выбранном количестве учитываемых параметров точности занимает непродолжительное время. В тоже время увеличение количества параметров модели (например, дополнительные гармоники в модели погрешности формы (1) или учет влияния других технологических баз) может существенно увеличить продолжительность вычислений. Регрессионный

анализа данных моделирования может проводить к экспоненциальному росту сложности вычислений. В тоже время, полученные коэффициенты снижения погрешности базирования могут использоваться в зависимостях, полученных при установке заготовки на одну призму, для упрощенной оценки погрешности базирования заготовки, установленной на двух жестких узких призмах.

Заключение

Разработанная модель позволяет численными методами исследовать точность базирования заготовок, установленных на призмы. Учет вероятности распределения значений параметров в пределах допусков

уменьшает значения погрешности базирования заготовок ϵ_6 , что дает возможность обоснованно снижать требования к точности приспособлений. Модель позволяет изменять распределения случайных вели-

чин параметров точности заготовки, изменять входные параметры точности, используя статистические данные реального технологического процесса, для повышения точности расчетов. Модель может быть использована для получения регрессионных зависимостей для определения погрешности базирования заготовок ε_6 .

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильицкий В.Б., Ерохин В.В. Погрешности базирования и положения деталей в призмах. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2008;3(92):17-21.
2. Филькин Д.М., Польский Е.А. Анализ точности установки заготовок на опорные призмы с учетом влияния размерных связей. *Научные технологии в машиностроении*. 2020;6(108):21-27.
3. Соловьев А.И., Джафарова Ш.И., Савельева Л.В., Терниченко В.А., Гордеев В.С. Методика расчета погрешности базирования при установке заготовок в призмы. *Главный механик*. 2020;3:58-64.
4. Абрамов Ф.Н. Точность базирования цилиндрических заготовок на призмах. *Машиностроитель*. 2010;6:22-28.

REFERENCES

1. Ilyitsky VB, Erokhin VV. Errors of locating and positioning parts in vees. *Assembling in Mechanical Engineering, Instrument-making*. 2008;3(92):17-21.
2. Filkin DM, Polsky EA. Accuracy analysis of billet installation upon support prisms taking into account dimensional tie impact. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2020;6(108):21-27.
3. Solovyov AI, Jafarova ShI, Savelyeva LV, Ternichenko VA, Gordeev VS. Methodology for calculating the error of locating when installing blanks in vees. *Chief Mechanical Engineer*. 2020;3:58-64.
4. Abramov FN. Accuracy of cylindrical workpieces locating in vees. *Mashinostroitel*. 2010;6:22-28.

Информация об авторах:

Филькин Дмитрий Михайлович - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, д. 7, 241035, тел. +7(953)292-13-92, e-mail: filkin.dm@mail.ru.

Filkin Dmitry Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering at Bryansk State Technical University, phone: +7(953)292-13-92, e-mail: filkin.dm@mail.ru.

В работе также показана необходимость учета погрешности формы и взаимного местоположения базовых и функциональных поверхностей для более точности оценки погрешности базирования ε_6 . Наличие этих погрешностей на базовых поверхностях приводит к отклонению от симметричности положения заготовки.

5. Абрамов Ф.Н. Точность базирования заготовок типа валов в центрах. *Вестник машиностроения*. 2012;3:63-67.
6. Качество машин: Справ. в 2 т. / Т. 1.; Под общ. ред. А. Г. Сулова. М.: Машиностроение, 1995. 253 с.
7. Филькин Д.М., Польский Е.А. Погрешность базирования заготовок при установке на опорные призмы с учетом макроотклонений. *Транспортное машиностроение*. 2022;1-2(1-2):8-19. DOI 10.30987/2782-5957-2022-01-02-8-19.
8. Saltelli A., Tarantola S., Campolongo F., Ratto M. *Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models*. 2004 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 0-470-87093-1.

5. Abramov FN. Accuracy of locating workpieces of the shaft type in the centers. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2012;3:63-67.
6. Suslov AG, editor. *Quality of machines: handbook*. Moscow: Mashinostroenie; 1995.
7. Filkin DM, Polsky EA. The error of basing the workpieces when installed on the location vees, taking into account macro displacements. *Transport Engineering*. 2022;1-2(1-2):8-19. DOI 10.30987/2782-5957-2022-01-02-8-19.
8. Saltelli A, Tarantola S, Campolongo F, Ratto M. *Sensitivity analysis in practice: a guide to evaluating scientific models*. 2004 John Wiley and Sons, Ltd. ISBN 0-470-87093-1.

Польский Евгений Александрович - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, д. 7, 241035, тел.: +7(909)243-65-95, e-mail: polski.eugene@hotmail.com.

Polsky Yevgeniy Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering at Bryansk State Technical University, phone: +7(909)243-65-95, e-mail: polski.eugene@hotmail.com.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 18.07.2022; одобрена после рецензирования 08.09.2022; принята к публикации 26.12.2022. Рецензент – Мокрицкий Б.Я., доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 18.07.2022; approved after review on 08.09.2022; accepted for publication on 26.12.2022. The reviewer is B.Ya. Mokritskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor of Komsomolsk-on-Amur State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.