

УДК 621.9-05

Ю.В. Петраков, д.т.н., проф.**Д.П. Шкуренко, магістр***Національний технічний університет України «КПІ»***МОДЕЛЮВАННЯ ТОЧНОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ОТВОРІВ
ПРИ ОБРОБЦІ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК**

Розв'язано задачу визначення похибок розташування отворів при обробленні на верстаті з ЧПК та базуванні на палець і зрізаний палець. Розроблено математичну модель утворення похибки розташування з урахуванням випадкових складових. Створено прикладну програму моделювання точності розташування отворів, що обробляються, залежно від геометричних параметрів схеми базування та розташування отворів у системі координат. Програма може використовуватися у навчальному процесі підготовки бакалаврів з інженерної механіки.

Актуальність проблеми. При обробці деталей типу корпусів, кронштейнів, важелів тощо на верстатах з ЧПК їх базування найчастіше застосовують за схемою установки на два пальці: циліндричний й зрізаний. У таких випадках заздалегідь оброблену площину використовують в якості установчої технологічної бази, а отвори – подвійної опорної й опорної баз.

Як правило, такі деталі мають отвори з досить високими вимогами до точності, в тому числі й до точності розташування в заданій координатній системі. Попередній аналіз такої схеми базування доводить, що точність розташування отворів у координатній системі залежатиме не тільки від точності базових отворів і пальців, точності верстата, а й положення отвору, що обробляється по відношенню до баз. Тому на виробництві часто виникає проблема забезпечення необхідної точності розташування всіх отворів, що обробляються з одної установки, оскільки точність однакових отворів, але розташованих по-різному до баз, виявляється різною.

Постановка задачі. Для вирішення проблеми прогнозування точності розташування отворів при обробленні на верстаті з ЧПК необхідно розробити математичну модель утворення похибки з урахуванням випадкової складової, координат розташування отвору по відношенню до установчих отворів і прикладну програму,

яка може використовуватись при визначенні геометричних параметрів схеми базування, що забезпечують задану точність.

Розв'язання задачі. Сумарна похибка будь-якого координатного розміру деталі складається з первинних похибок, які прийнято ділити на три групи:

- похибка установки заготовки;
- похибка налагодження верстата;
- похибка обробки.

Аналіз таких складових при обробці на верстатах з ЧПК доводить, що саме похибка установки заготовки, яка, в свою чергу, складається з похибки базування і похибки закріплення, має домінуючий характер. Крім того, всі складові похибки мають імовірнісний характер. Відомо також, що випадкові відхилення розмірів при механічній обробці з точністю до 8-го квалітету підкоряються закону нормального розподілу (закону Гауса), а при більш високій точності до 6-го квалітету – закону рівнобедреного трикутника (закону Сімпсона) [1]. Тому для подальших розрахунків доцільно прийняти нормальний закон розподілу, оскільки він забезпечує деякий корисний запас у розрахунках.

Із аналізу можливих переміщень заготовки встановлено, що вона може зміщуватись від теоретичного положення на величину, яка обумовлюється фактичними зазорами в пальцях і базових отворах, рухаючись у двох напрямках: за плоскопаралельним рухом та повертаючись біля певного полюса [1–4].

Для розроблення математичної моделі утворення похибки розташування отворів необхідно скористатися схемою базування у координатній системі верстата при базуванні на палець і зрізаний палець. У системі координат верстата XOY , яка може бути розташована по відношенню до пристрою випадковим чином, координати циліндричного пальця позначені як $[x_p, y_p]$, координати зрізаного пальця – $[x_z, y_z]$, та координати отвору, що обробляється – $[x_o, y_o]$ (рис. 1).

Похибка від плоскопаралельного руху. Максимальне зміщення Δ_{\max} заготовки від її середнього положення при плоско-паралельному русі на одному пальці обмежується наступними розмірами:

$$\Delta_{\max} = \Delta_p + \frac{\delta_o}{2} + \frac{\delta_n}{2} + \frac{\delta_{nz}}{2}, \quad (1)$$

де Δ_p – максимальний радіальний зазор, δ_o – допуск на діаметр базового отвору, δ_n – допуск на діаметр пальця, δ_{nz} – допуск на його зношування.

Оскільки базові отвори та пальці, як правило, виготовляються за однаковим квалітетом точності, а зношування зрізаного пальця буде більше, ніж у циліндричного, то максимальна похибка Δ_{nl-n} будь-якого координатного розміру при плоскопаралельному русі обмежується мінімальним з двох максимальних зміщень на обох пальцях:

$$\Delta_{nl-n} = \min \{ (\Delta_{\max})_y, (\Delta_{\max})_z \}. \quad (2)$$

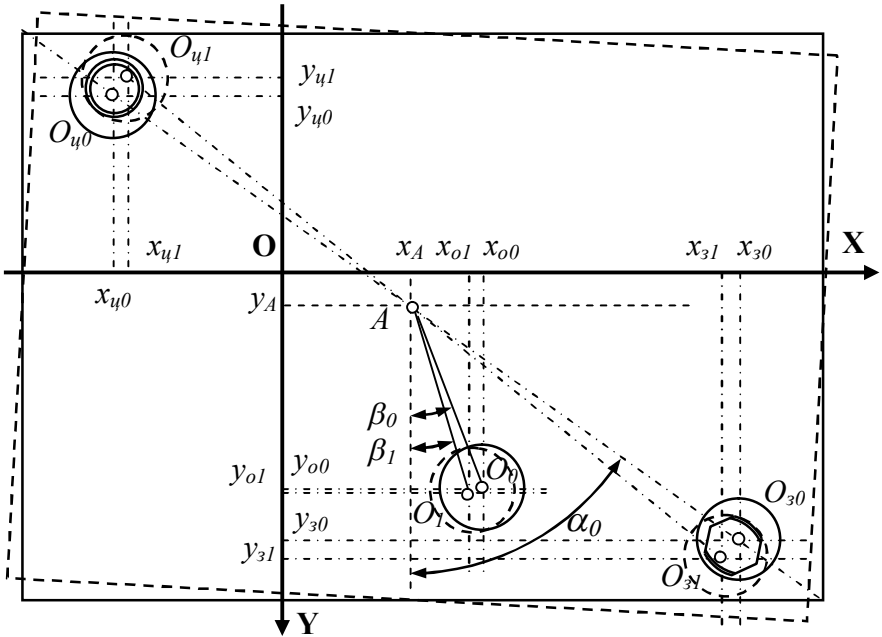


Рис. 1. Схема утворення похибки

Похибка від повороту. Із аналізу геометричних співвідношень рис. 1, де пунктирними лініями показане положення заготовки при можливому повороті, можна знайти координати полюсу A повороту.

Для вирішення такої задачі доцільно скористатися відомим співвідношенням між максимальними зазорами пальців і базових отворів та міжцентровою довжиною. Міжцентрова відстань базових отворів:

$$O_{ц0} O_{п3} = \sqrt{(x_{п3} - x_{ц0})^2 + (y_{п3} - y_{ц0})^2}, \quad (3)$$

а полюс A визначається за відрізком:

$$O_{z_0}A = O_{z_0}O_{y_0} \cdot (\Delta_{\max})_z / [(\Delta_{\max})_z + (\Delta_{\max})_y]. \quad (4)$$

Таким чином, координати полюса можуть бути розраховані за наступними формулами:

$$\begin{cases} x_A = x_{z_0} - O_{z_0}A \cdot \sin \alpha_0 \\ y_A = y_{z_0} - O_{z_0}A \cdot \cos \alpha_0 \end{cases}, \quad (5)$$

де кут нахилу міжцентрової лінії до осі Y :

$$\alpha_0 = \arctan\left(\frac{x_{z_0} - x_{y_0}}{y_{z_0} - y_{y_0}}\right). \quad (6)$$

Кут β_0 , який визначає положення центру отвору, що обробляється, в полярній системі координат з центром у полюсі A :

$$\beta_0 = \arctan\left(\frac{x_0 - x_A}{y_0 - y_A}\right). \quad (7)$$

Максимальна похибка $\delta\beta$ кута β_0 внаслідок максимально можливих зміщень у базових отворах:

$$\delta\beta = \frac{(\Delta_{\max})_y + (\Delta_{\max})_z}{O_{y_0}O_{z_0}}. \quad (8)$$

Таким чином, нові координати отвору, що обробляється, при максимально можливому повороті заготовки по відношенню до полюса можуть бути визначені за наступними залежностями:

$$\begin{cases} x_{o1} = x_A + O_{z_0}A \cdot \sin \beta_1 \\ y_{o1} = y_A + O_{z_0}A \cdot \cos \beta_1 \end{cases}, \quad (9)$$

де $\beta_1 = \beta_0 + \delta\beta$.

У результаті максимально можливих похибок за координатами розташування отвору, що обробляється, внаслідок повороту заготовки визначаються з порівняння координат, розрахованих за залежностями (9) з вихідними (теоретичними) величинами цих координат:

$$\begin{cases} \delta_x = x_{o1} - x_{o0} \\ \delta_y = y_{o1} - y_{o0} \end{cases}. \quad (10)$$

Оскільки поле розсіювання координатних розмірів отвору, що обробляється, фактично буде визначатися при випадковому положенні заготовки

по відношенню до баз, яке складається з певного переміщення за плоско-паралельним рухом і певного повороту, то:

$$\begin{cases} \Delta_x = \max\{\Delta_{nl-n}, \delta_x\} \\ \Delta_y = \max\{\Delta_{nl-n}, \delta_y\} \end{cases} \quad (11)$$

Розроблена математична модель (1)–(11) покладена в основу прикладної програми моделювання точності розташування отворів при обробленні на верстатах з ЧПК, коли заготовка базується за циліндричним та зрізаним пальцями. Оскільки розроблена модель є детермінованою, то для отримання стохастичної моделі була розроблена спеціальна процедура, яка відтворює нормальний закон розподілу. Текст такої процедури представлений нижче:

Randomize;

for j:=1 to nd do begin

A[j]:=round(RandG(nd/2,nd/6)); **end;**

for j:=1 to nd do begin

Epx[j]:=Xsr+((nd/2-A[j])/nd)*Thx; **end;**

for j:=1 to nd do begin

if Epxmin>Epx[j] **then** Epxmin:=Epx[j];

if Epxmax<Epx[j] **then** Epxmax:=Epx[j]; **end.**

У тексті процедури: nd – кількість деталей партії, A[j] – масив за нормальним законом Гауса, Xsr – номінальний розмір за координатою X, Thx – поле допуску, Epx[j] – масив фактичних значень координати X, Epxmin, Epxmax – мінімальне і максимальне значення відповідно.

Моделювання. Моделювання впливу різних геометричних параметрів схеми базування та координат розташування центру отвору, що обробляється, на точність виконується за допомогою розробленої прикладної програми, головний інтерфейс якої представлений на рис. 2.

У вікнах інтерфейсу вводяться дані, які визначають геометричні параметри циліндричного і зрізаного пальців та координати отвору, що обробляється. Встановити бажаний розмір партії деталей, який дозволить зробити висновки щодо розподілу похибки оброблення з урахуванням випадкових складових. Для моделювання натиснути кнопку «Процес». У графічному вікні відбувається анімація процесу оброблення і після закінчення циклу для отримання розрахункових даних натиснути кнопку «Результати статистичної обробки». На додатковому інтерфейсі з'являються гістограми похибок розташування отвору відповідно за віссю X і Y. Кнопка «Пауза» припиняє процес моделювання, кнопка «Вихідне положення» переводить програму у вихідний стан. При натисканні кнопки «Help» на екрані

з'являється додатковий інтерфейс з інструкціями і поясненнями до роботи з програмою.

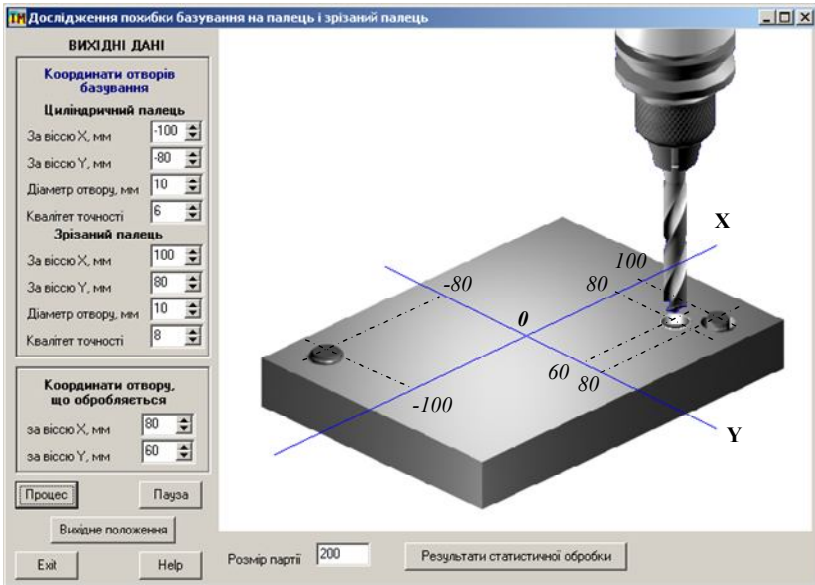


Рис. 2. Головний інтерфейс програми моделювання

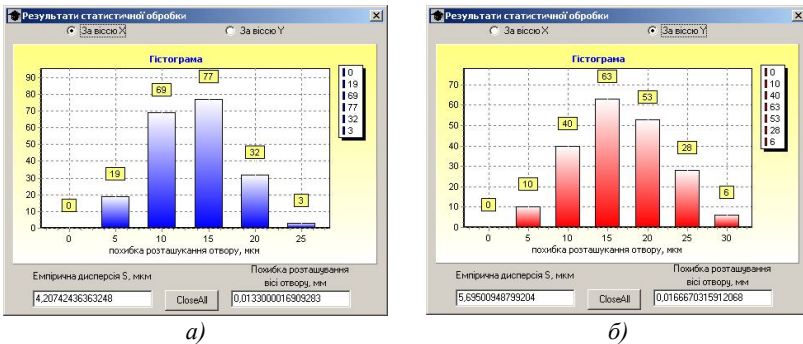


Рис. 3. Гістограми похибки розташування отвору за осями X (а) і Y (б)

За допомогою розробленої програми проведені експериментальні дослідження впливу координат розташування отвору, що обробляється та точність координатних розмірів. Вихідні дані експерименту відповідають даним, представленим у віконцях інтерфейсу на рис. 2. Результати моделювання за кожним експериментом визначаються з інтерфейсів, що з'являються при натисканні кнопки «Результати статистичної обробки» на головному інтерфейсі (рис. 3). Отримані дані експериментальних досліджень при постійному значенні координати за віссю Y (№ 1–5) та за віссю X (№ 6–10) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

№	X_o , мм	Y_o , мм	S , мкм	δ , мм
1	80	60	6,914285	0,022161
2	40	60	5,371151	0,016363
3	0	60	4,56239	0,015589
4	-40	60	4,972834	0,014577
5	-80	60	4,846512	0,015165
6	80	60	6,273624	0,019261
7	80	30	5,083245	0,016698
8	80	0	5,671758	0,016931
9	80	-30	5,438511	0,016773
10	80	-60	5,556012	0,01628

Результати експериментів у графічній формі представлені на рис. 4, де лінія 1 – відхилення, лінія 2 – емпірична дисперсія. Точність координат отворів суттєво змінюється залежно від їх розташування. Так, точність розташування за віссю X змінюється за емпіричною дисперсією в 1,4 рази: з 6,91 мкм при координаті $X = 60$ мм до 4,85 мкм при $X = -80$ мм.

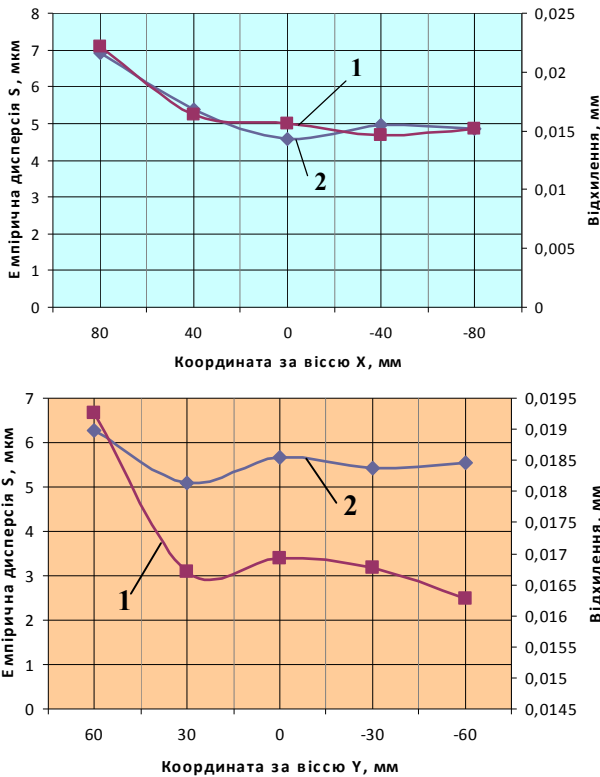


Рис. 4. Графіки емпіричної дисперсії та похибки розташування отвору залежно від координат отвору

Висновок. Розроблена прикладна програма, яка моделює процес оброблення отвору при базуванні на два пальці і дозволяє визначати похибку розташування отвору залежно від геометричних параметрів схеми базування. У ході експерименту було визначено вплив різних геометричних параметрів на точність оброблення отвору. Фактично на величину похибки впливає різниця величин допусків пальців, відповідно й значення діаметра отворів під пальці. При збільшенні зазору одного із пальців прямопропорційно збільшується похибка базування обробляючого отвору. Встановлено, що похибка розташування отворів у координатній системі суттєво залежить, при інших рівних умовах, від координат отвору по відношенню до координат базових отворів, що необхідно ураховувати при призначенні допусків на

координатні розміри отворів, що обробляються. Прикладна програма розроблена у рамках Лабораторії віртуальних засобів навчання НТУУ «КПІ» та рекомендується для застосування у навчальному процесі при підготовці бакалаврів з інженерної механіки з дисципліни «Проектування верстатних пристроїв».

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Корсаков В.С.* Основы конструирования приспособлений : учебник для вузов / *В.С. Корсаков.* — М. : Машиностроение, 1983. — 277 с.
2. *Ансеров М.А.* Приспособления для металлорежущих станков / *М.А. Ансеров.* — Л. : Машиностроение, 1975.
3. *Белоусов А.П.* Проектирование станочных приспособлений : учебное пособие для учащихся техникумов / *А.П. Белоусов.* — М. : Высш. школа, 1980. — 240 с.
4. Станочные приспособления : справочник: в 2-х т. — М. : Машиностроение, 1984. — Т. 1 / под ред. Б.Н. Вардашкина, Л.Л. Шатилова. — 1984. — 592 с.

ПЕТРАКОВ Юрій Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ», науковий керівник Галузевої лабораторії віртуальних засобів навчання.

Наукові інтереси:

– проектування верстатних пристроїв.

ШКУРЕНКО Дмитро Петрович – магістр кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– проектування верстатних пристроїв.

Подано 27.07.2009