

УДК 621.91

В.Р. Шугай, В.К. Фролов

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Автоматизація визначення геометричних параметрів верстатних пристроїв при базуванні заготовки на отвори

При проектуванні технологічних процесів механічного оброблення корпусних деталей в якості технологічних баз часто використовуються один або два отвори. Конструктору верстатних пристроїв необхідно розрахувати максимально допустиму висоту установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки при перекосі. Інколи, при наявності у заготовки декількох отворів різного діаметра і якості, технологу доводиться вибирати два базових отвори за критерієм найбільшої точності.

Максимально допустима висота установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки може бути призначена за залежностями з довідника [1, стор. 275].

Розрахункові схеми при установці заготовки на один та на два пальці приведені на рис. 1, а та 1, б.

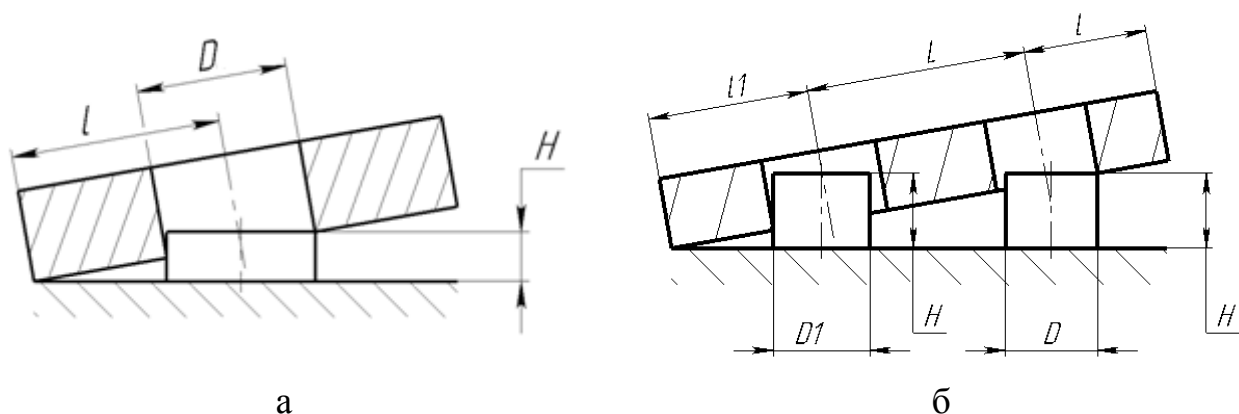


Рис. 1. Схема установки заготовки (а – на один палець; б – на два пальці)

Розрахункова формула при установці заготовки на один палець

$$H = \frac{l+0,5 \cdot D}{D} \cdot \sqrt{2 \cdot D \cdot \Delta_{min}} \quad (1)$$

та на два пальці (за умови  $D = D_1$ ;  $l = l_1$ )

$$H = \frac{L+l+0,5 \cdot D}{L+D} \cdot \sqrt{2 \cdot (L+D) \cdot \Delta_{min}} \quad (2)$$

де  $H$  – робоча висота пальця, мм;  $l$  – найкоротша відстань від центру отвору до краю заготовки, мм;  $L$  – відстань між центрами отворів, мм;  $D$  – найменший діаметр отвору деталі, мм;  $\Delta_{min}$  – гарантований проміжок між пальцем і отвором, мм.

Аналіз залежностей показує, що розрахована за ними висота установчих пальців інколи в декілька разів менша за дійсно необхідну. При цьому формули можуть бути використані тільки за умови однакових діаметрів отворів та однакових відстаней від центрів отворів до краю заготовки, що значно звужує сферу їх використання.

Метою даної роботи є визначення узагальнених теоретичних залежностей для розрахунку висоти установчих пальців при базуванні заготовки на отвори та автоматизація процесу розрахунків.

Розрахункова схема при установці заготовки на один палець приведена на рис. 2.

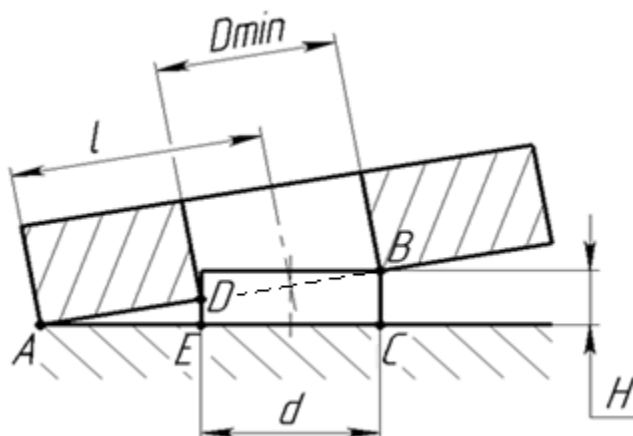


Рис. 2. Схема установки заготовки на один палець

З трикутника  $ABC$  отримаємо:

$$AB^2 = AC^2 + BC^2, \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} AB &= AD + DB; \\ AC &= AE + EC. \end{aligned} \quad (4)$$

З подібних трикутників  $ABC$  та  $ADE$  визначимо  $AE$ :

$$\frac{AE}{AC} = \frac{AD}{AB} \Rightarrow AE = \frac{AC \cdot AD}{AB}. \quad (5)$$

Підставимо (5) в (4):

$$AC = \frac{AC \cdot AD}{AB} + EC \Rightarrow AC = \frac{EC \cdot AB}{AB - AD}. \quad (6)$$

Підставимо (6) в (3):

$$AB^2 = \frac{EC^2 \cdot AB^2}{(AB - AD)^2} + BC^2.$$

Замінивши в останньому виразі відрізки їх значеннями

$$AB = l + \frac{D_{min}}{2}; EC = d; AD = l - \frac{D_{min}}{2}; BC = H,$$

отримаємо:

$$\left(l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2 = \frac{d^2 \cdot \left(l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2}{\left(l + \frac{D_{min}}{2} - l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2} + H^2.$$

Вирішивши рівняння відносно  $H$  і враховуючи, що  $d = D_{min} - \Delta_{min}$  ( $\Delta_{min}$  – гарантований проміжок між пальцем та отвором), остаточно отримаємо:

$$H \leq \frac{l + 0,5 \cdot D_{min}}{D_{min}} \cdot \sqrt{2 \cdot D_{min} \cdot \Delta_{min} - \Delta_{min}^2}. \quad (7)$$

Проведемо порівняння отриманої формули (7) з формулою (1) при вихідних значеннях  $l = 20$  мм;  $D_{min} = 10$  мм;  $\Delta_{min} = 0,05$  мм.

При використанні виразу (7):

$$H \leq \frac{20 + 0,5 \cdot 10}{10} \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,05 - 0,05^2} \leq 2,4969 \text{ мм.}$$

При використанні виразу (1):

$$H \leq \frac{20 + 0,5 \cdot 10}{10} \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,05} \leq 2,5 \text{ мм.}$$

Відзначимо, що похибка при використанні виразу (1) порівняно невелика.

Розрахункова схема при установці заготовки на два пальці приведена на рис. 3.

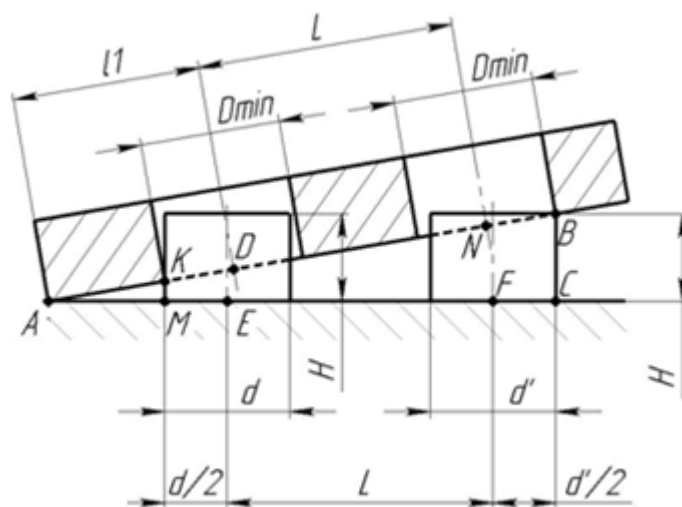


Рис. 3. Схема установки заготовки на два пальці

З трикутника  $ABC$  отримаємо:

$$AB^2 = AC^2 + BC^2, \quad (8)$$

де

$$\begin{aligned} AB &= AD + DN + NB; \\ AC &= AM + ME + EF + FC; \\ DN &= EF. \end{aligned} \quad (9)$$

З подібних трикутників  $ABC$  та  $AKM$  визначимо  $AM$ :

$$\frac{AM}{AC} = \frac{AK}{AB} \Rightarrow AM = \frac{AC \cdot AK}{AB}, \quad (10)$$

де

$$AK = AD - KD.$$

Підставимо (10) в (9):

$$AC = \frac{AC \cdot AK}{AB} + ME + EF + FC \Rightarrow AC = \frac{(ME + EF + FC) \cdot AB}{AB - AK}. \quad (11)$$

Підставимо (11) в (8):

$$AB^2 = \frac{(ME + EF + FC)^2 \cdot AB^2}{(AB - AK)^2} + BC^2.$$

Замінивши в останньому виразі відрізки їх значеннями

$$\begin{aligned} AB &= l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2}; \quad ME = \frac{d}{2}; \quad EF = L_{min}; \\ FC &= \frac{d'}{2} = \frac{0,9 \cdot d}{2}; \quad AK = l - \frac{D_{min}}{2}; \quad BC = H, \end{aligned}$$

отримаємо:

$$\left(l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2}\right)^2 = \frac{\left(\frac{d}{2} + L + \frac{0,9 \cdot d}{2}\right)^2 \cdot \left(l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2}\right)^2}{\left(l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2} - l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2} + H^2.$$

Вирішивши рівняння відносно  $H$  і враховуючи, що  $d = D_{min} - \Delta_{min}$  ( $\Delta_{min}$  – гарантований проміжок між пальцем і отвором);  $L_{min} = L - \delta/2$  ( $\delta$  – допуск на розмір  $L$ ), остаточно отримаємо:

$$H \leq \frac{l + L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}}{L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}} \cdot \sqrt{0,1 \cdot D_{min} \cdot L + 0,1 \cdot D_{min}^2 - \delta \cdot (D_{min} + L) + \Delta_{min} \cdot (1,8 \cdot D_{min} + 1,9 \cdot L) + \frac{\delta^2}{4} - 0,9 \cdot \Delta_{min}^2}. \quad (12)$$

Проведемо порівняння отриманої формули (12) з формулою (2) при вхідних значеннях  $l = 20$  мм;  $D_{min} = 10$  мм;  $\Delta_{min} = 0,05$  мм;  $L = 100$  мм;  $\delta = 0,1$  мм.

При використанні виразу (12):

$$H \leq \frac{20 + 100 + 5 - 0,05}{100 + 10 - 0,05} \cdot \sqrt{0,1 \cdot 10 \cdot 100 + 0,1 \cdot 10^2 - 0,1 \cdot (10 + 100) + 0,05 \cdot (1,8 \cdot 10 + 1,9 \cdot 100) + \frac{0,1^2}{4} - 0,9 \cdot 0,05^2}$$

$$\leq 11,89 \text{ мм.}$$

При використанні виразу (2):

$$H \leq \frac{20 + 100 + 0,5 \cdot 10}{100 + 10} \cdot \sqrt{2 \cdot (100 + 10) \cdot 0,05} \leq 3,77 \text{ мм.}$$

Відзначимо, що при використанні виразу (2) максимально допустима висота установчих пальців занижена більше ніж втричі за дійсно необхідну.

Ще одним фактором, що може впливати на максимально допустиму висоту установчих пальців, є неперпендикулярність базового отвору чи отворів базовій площині. Відомо, що неперпендикулярність  $\delta_{\perp}$  – це відхилення від прямого кута, яке визначається в лінійних одиницях на заданій довжині  $H$  (рис. 4).

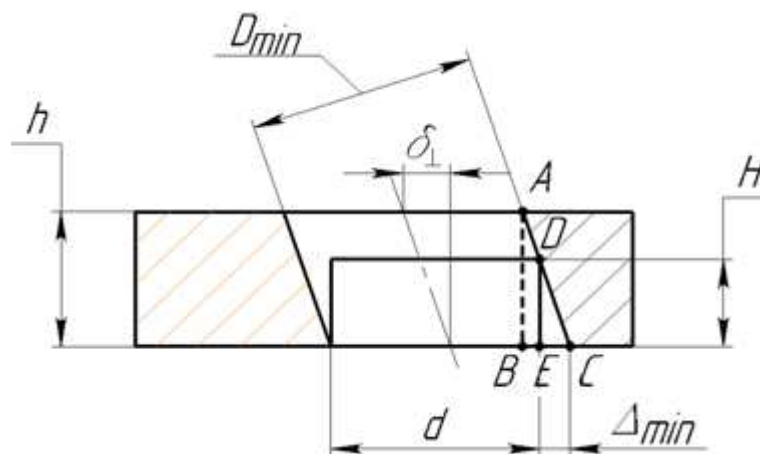


Рис. 4. Схема установки заготовки на один палець при неперпендикулярності базового отвору базовій площині

З трикутників ABC та DEC отримаємо:

$$\frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EC} \Rightarrow DE = \frac{AB \cdot EC}{BC}, \quad (13)$$

де:

$$DE = H; AB = h; EC = \Delta_{min}; BC = \delta_{\perp}.$$

Замінімо в виразі (13) відрізки їх значеннями:

$$H \leq \frac{h \cdot \Delta_{min}}{\delta_{\perp}}.$$

При  $h = 10$  мм;  $\Delta_{min} = 0,05$  мм;  $\delta_{\perp} = 0,1$  мм максимально допустима висота установчого пальця

$$H \leq \frac{10 \cdot 0,05}{0,1} = 5 \text{ мм},$$

а при  $h = 10$  мм;  $\Delta_{min} = 0,05$  мм;  $\delta_{\perp} = 0,05$  мм

$$H \leq \frac{10 \cdot 0,05}{0,05} = 10 \text{ мм}.$$

Відзначимо, що неперпендикулярність базового отвору базовій площині обмежує висоту установчого пальця тільки при значних величинах допуску на неперпендикулярність.

Визначимо висоту установчих пальців при базуванні заготовки на два отвори, неперпендикулярних базовій площині. Схема установки заготовки приведена на рис. 5.

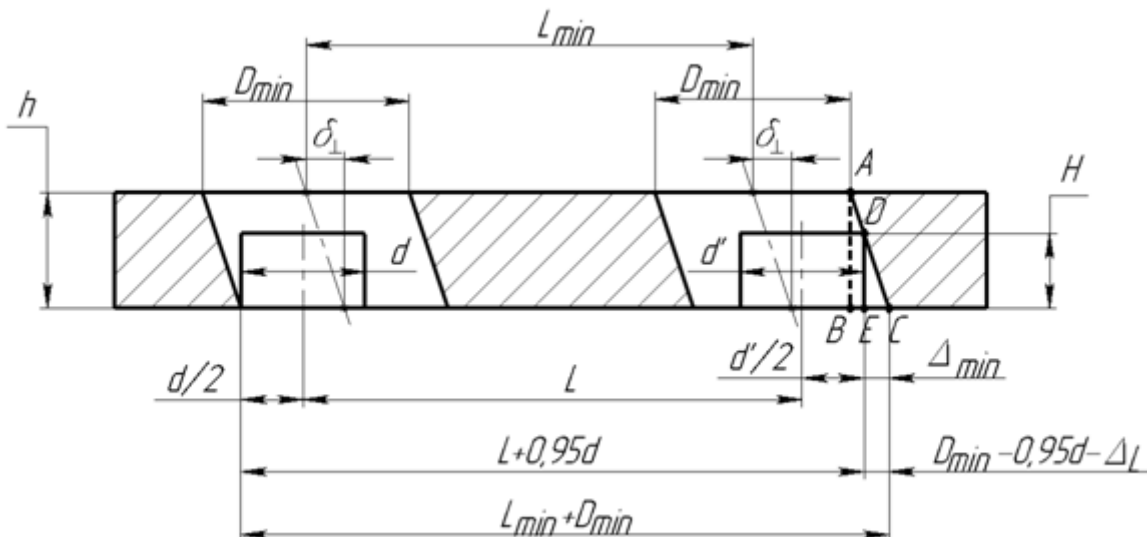


Рис. 5. Схема установки заготовки на два пальці при неперпендикулярності базових отворів базовій площині

З трикутників ABC та DEC отримаємо:

$$\frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EC} \Rightarrow DE = \frac{AB \cdot EC}{BC}, \quad (14)$$

де

$$DE = H; AB = h; BC = \delta_{\perp};$$

$$EC = (L_{min} + D_{min}) - (L + 0,95 \cdot d) = D_{min} - 0,95 \cdot d - \Delta_L.$$

Зважаючи, що  $\Delta_{min} = D_{min} - d$ , звідки  $D_{min} = \Delta_{min} + d$ , тоді

$$EC = \Delta_{min} + d - 0,95 \cdot d - \Delta_L = \Delta_{min} + 0,05 \cdot d - \Delta_L.$$

Замінімо в виразі (14) відрізки їх значеннями:

$$H \leq \frac{h \cdot (\Delta_{min} + 0,05 \cdot d - \Delta_L)}{\delta_{\perp}}$$

При  $h = 10$  мм;  $\Delta_{min} = 0,05$  мм;  $\delta_{\perp} = 0,1$  мм;  $d = 8$  мм;  $\Delta_L = 0,04$  мм  
максимально допустима висота установчих пальців

$$H \leq \frac{10 \cdot (0,05 + 0,05 \cdot 8 - 0,04)}{0,1} = 41 \text{ мм.}$$

Відзначимо, що неперпендикулярність базових отворів базовій площині практично не обмежує висоту установчих пальців, тому при розрахунках можна нею знехтувати.

Залежності для визначення максимально допустимої висоти установчих пальців, отримані в результаті теоретичних досліджень, є досить громіздкими і, при розрахунках за ними «вручну», не виключаються помилки. Для спрощення процесу розрахунків авторами створено комп'ютерну програму [2].

Програма дозволяє визначати придатні для базування отвори за критерієм найбільшої точності при їх кількості більше двох, при різних величинах їх діаметрів та різній точності. Для вибраних отворів можна розрахувати максимально допустиму висоту установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки при перекосі.

Програмний продукт розроблений з використанням мови C#. Він гарантує точність і достовірність результатів розрахунків, простий у користуванні і має інтуїтивно зрозумілий для користувачів інтерфейс. Алгоритм програми зображений на рис. 6.

Вихідними даними для програми є: кількість отворів в заготовці, розміри заготовки (довжина, ширина, висота), координати центрів отворів, діаметри отворів та їх точність (квалітет).

Після запуску програми вибирають кількість отворів, наявних в заготовці – «один» (рис. 7) або «більше одного» (рис. 8), які будуть використовуватися для установчих пальців. Після вибору необхідно заповнити вихідні дані та таблицю з розташуванням і розмірами отворів.

При наявності в заготовці одного отвору розрахована максимально допустима висота установчого пальця виводиться на головне вікно програми. При наявності в заготовці більше одного отвору спочатку визначаються придатні для базування отвори за критерієм найбільшої точності (рис. 9), а потім розраховується максимально допустима висота установчих пальців (рис. 10).

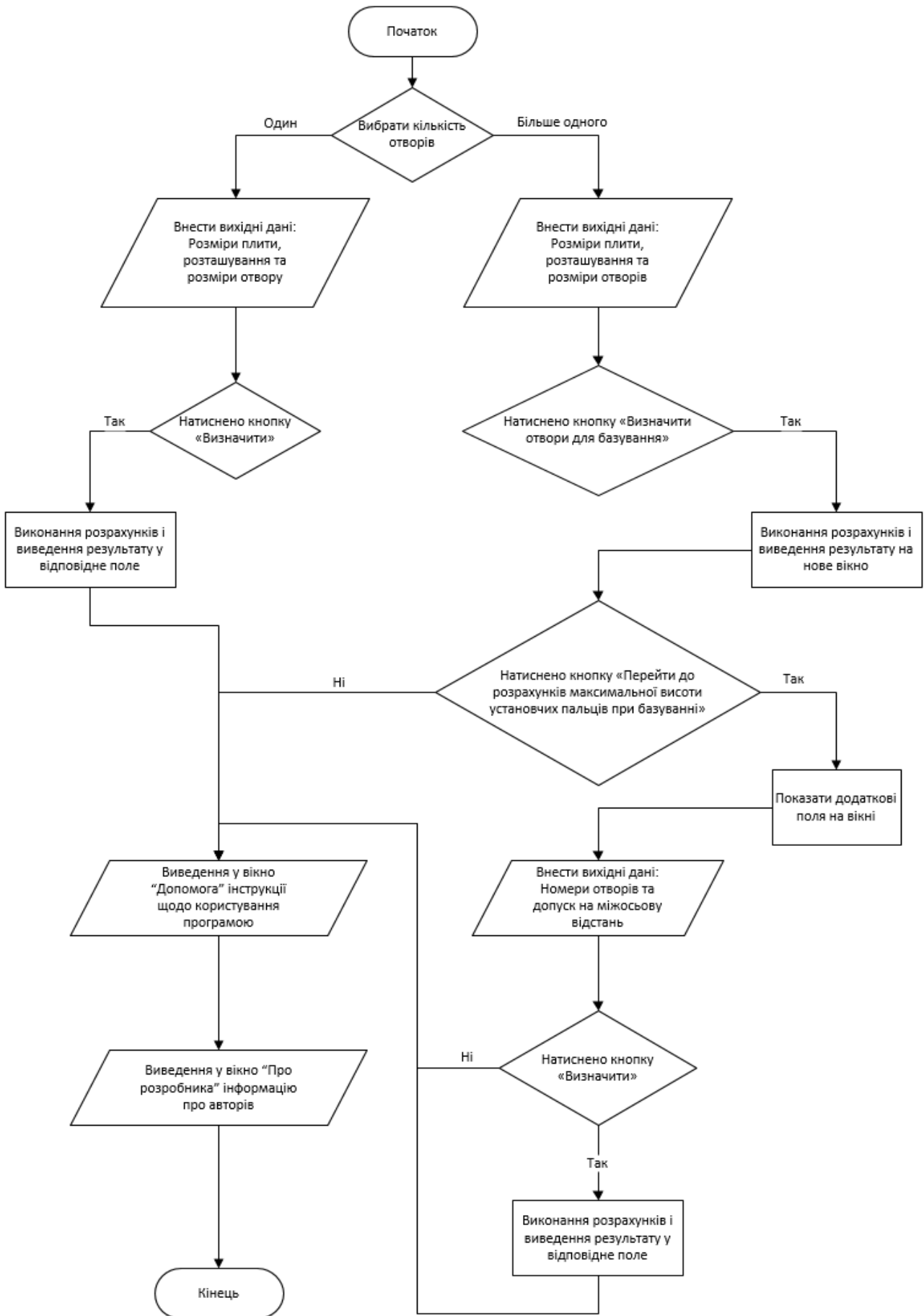


Рис. 6. Алгоритм роботи програмного продукту



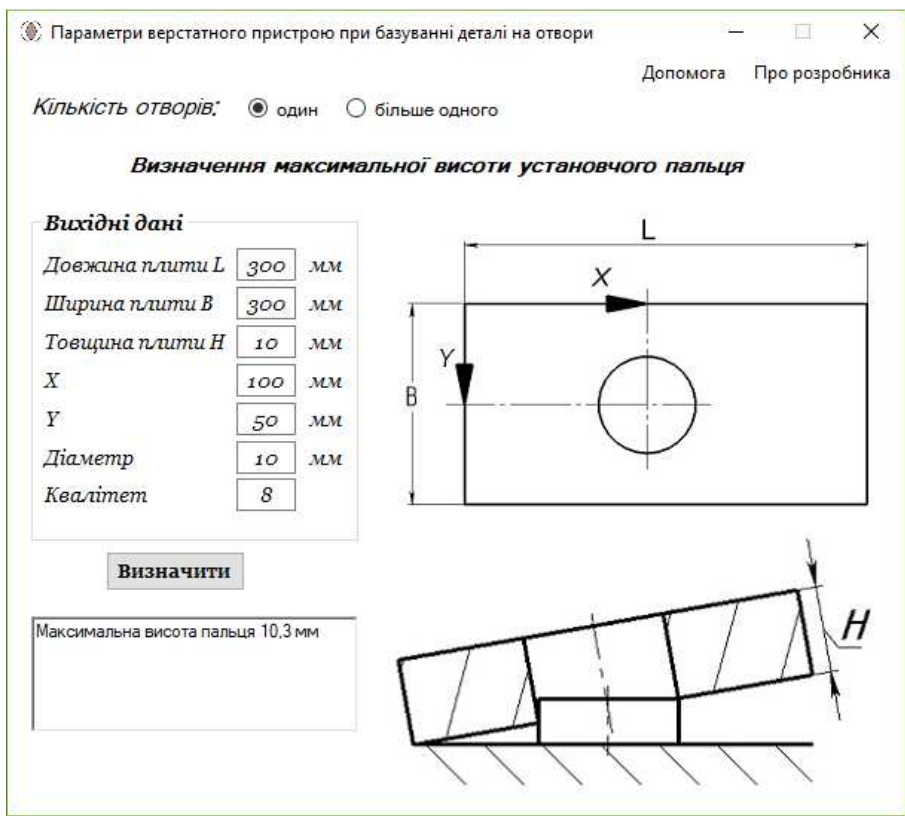


Рис. 7. Головне вікно програми при наявності в заготовці одного отвору

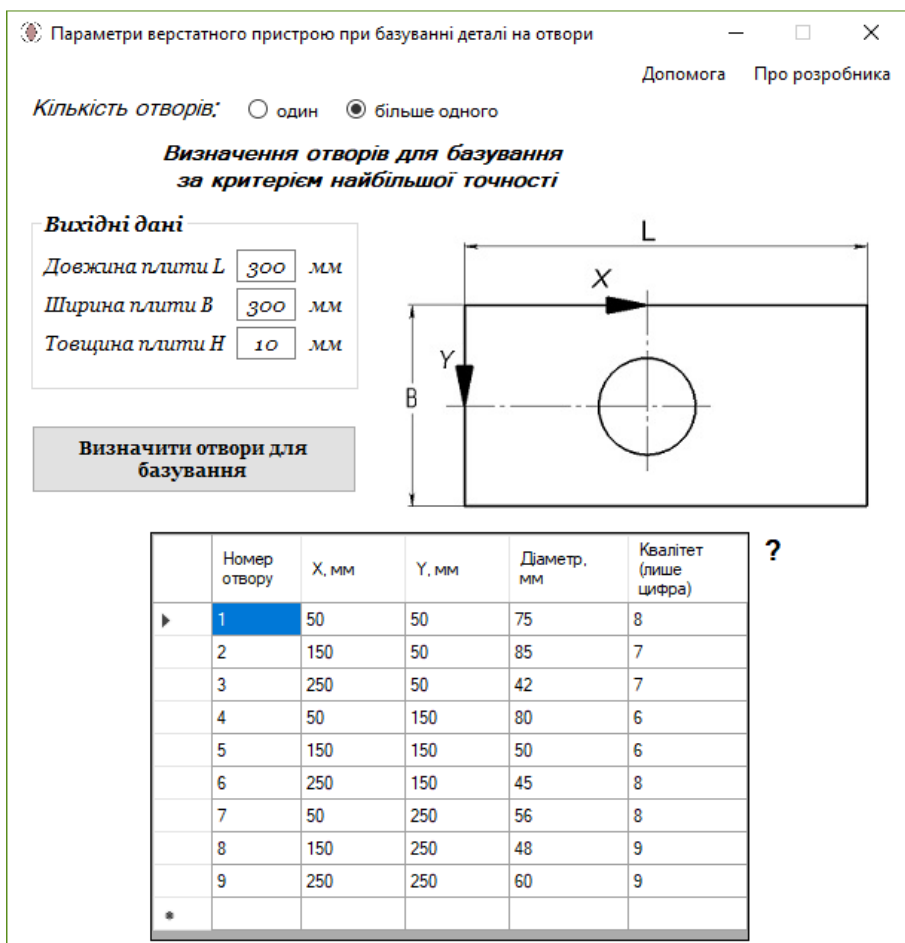


Рис. 8. Головне вікно програми при наявності в заготовці більше одного отвору



Рис. 9. Вікно «Визначення отворів для базування за критерієм найбільшої точності»

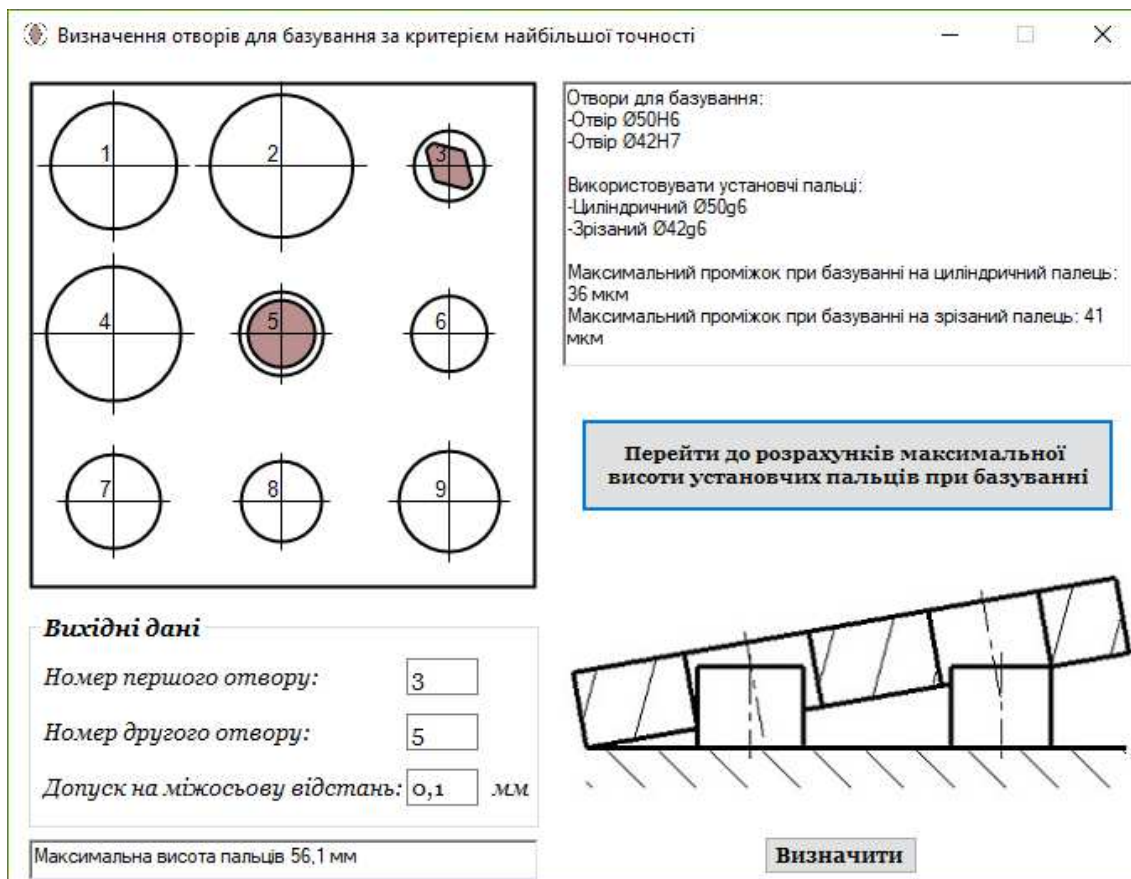


Рис. 10. Вікно «Визначення отворів для базування за критерієм найбільшої точності» з результатами розрахунку максимально допустимої висоти установчих пальців

З головного вікна програми можна перейти до вікон «Допомога» (рис. 11) та «Про розробника» (рис. 12), де приведена інструкція для користування та інформація про авторів відповідно.

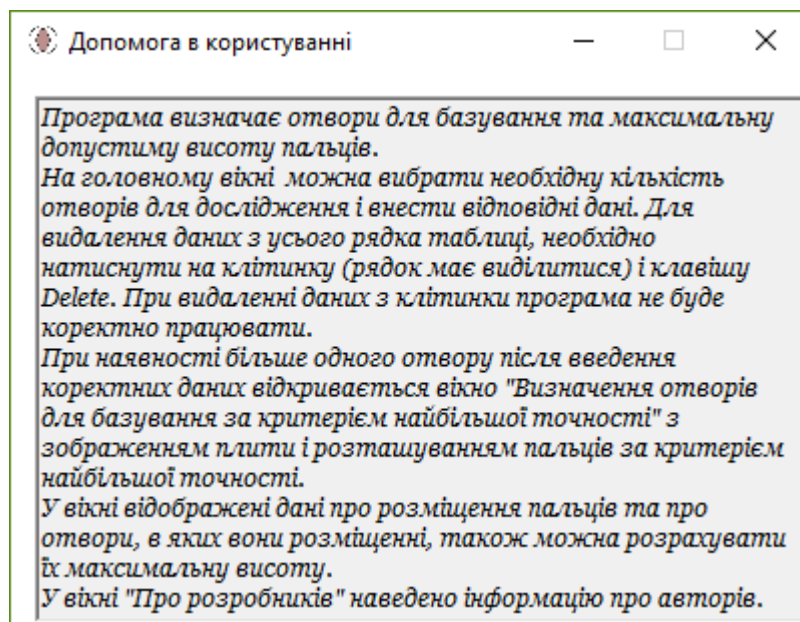


Рис. 11. Вікно «Допомога»



Рис. 12. Вікно «Про розробника»

### Висновки

1. В результаті теоретичних досліджень отримані залежності для визначення максимально допустимої висоти установчих пальців при базуванні заготовки на один палець

$$H \leq \frac{l + 0,5 \cdot D_{min}}{D_{min}} \cdot \sqrt{2 \cdot D_{min} \cdot \Delta_{min} - \Delta_{min}^2}$$

та на два пальці

$$H \leq \frac{l + L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}}{L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}} \cdot \sqrt{0,1 \cdot D_{min} \cdot L + 0,1 \cdot D_{min}^2 - \delta \cdot (D_{min} + L) + \Delta_{min} \cdot (1,8 \cdot D_{min} + 1,9 \cdot L) + \frac{\delta^2}{4} - 0,9 \cdot \Delta_{min}^2}$$

2. Неперпендикулярність базових отворів базовій площині практично не обмежує висоту установчих пальців, тому при розрахунках можна нею знехтувати.

3. Створена комп'ютерна програма для автоматизованого визначення придатних для базування отворів за критерієм найбільшої точності при їх кількості більше двох, при різних величинах їх діаметрів та різній точності. За допомогою програми можна також розраховувати максимально допустиму висоту установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки при перекосі для випадків базування на один або на два отвори.

#### Список використаних джерел

1. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. Изд. 7-е, перераб. и доп. М.: «Машиностроение», 1979. – 303с.
2. Шугай В.Р., Фролов В.К. Комп'ютерна програма «Параметри верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 85946 від 18.02.2019. Заявка № 87540 від 13.02.2019. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України.