

УДК 621.941.1

В.Ю. Пилипюк, В.К. Фролов

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

Автоматизований розрахунок координат робочих позицій віртуально базованої заготовки

При обробленні заготовок на верстатах з ЧПК значна кількість часу витрачається на її базування. Останнім часом використовують віртуальне базування заготовок, а розташування її поверхонь визначають за допомогою контактних вимірювальних систем [1, 2, 3]. Вимірювання відбувається шляхом багаторазового торкання щупом поверхонь заготовки в трьох координатних площинах та є малопродуктивним процесом. Крім того, траєкторія переміщення контактної щупа має бути запрограмованою окремо для кожної нової конструкції заготовки. Це збільшує собівартість підготовки виробництва.

Авторами запропоновані способи визначення реального положення заготовки при її віртуальному базуванні [4, 5] та система контролю її розташування [6].

Сутність способів полягає в цифровому фотографуванні еталонно встановленої заготовки, яка зазвичай є першою оброблюваною заготовкою з партії, та кожної з наступних встановлених заготовок партії, порівнянні цих цифрових фотографій та визначення кутових і лінійних відхилень розташування їхніх систем координат.

При обробленні на трьохосьових багатоцільових верстатах з вертикальною компоновкою величини відхилень вносять до САМ- системи і оброблюють заготовки за корегованою програмою.

При обробленні на чотирьохосьових багатоцільових верстатах з горизонтальною компоновкою, забезпечених обертовим столом з вертикальною віссю обертання, заготовка під час виконання операції може займати декілька робочих позицій, потрібних для реалізації технологічного процесу. При цьому система координат оброблюваної заготовки повинна бути повернута на визначений кут відносно системи координат верстата, що забезпечується поворотом обертового стола. Кут повороту стола та розташування точки

початку системи координат заготовки на її робочій позиції залежать від первісного положення заготовки при базуванні.

Метою роботи є автоматизація розрахунку координат заготовки в робочих позиціях. Для досягнення мети вирішено два завдання: отримані аналітичні залежності для розрахунку координат заготовки та створена комп'ютерна розрахункова програма.

На рис. 1 приведена розрахункова схема з розташуванням еталонної заготовки, оброблюваної заготовки в вихідній позиції та оброблюваної заготовки в робочій позиції.

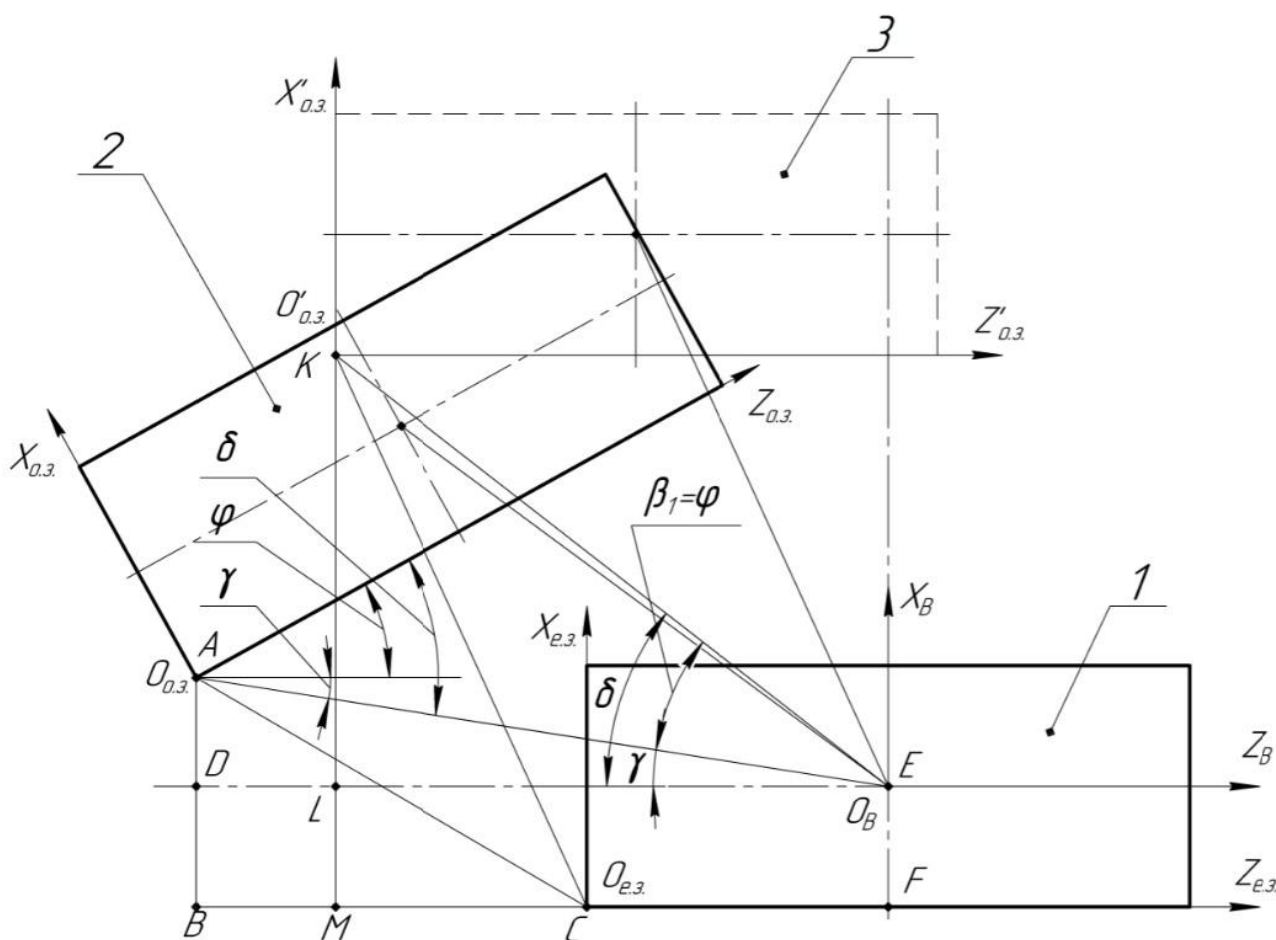


Рис. 1. Розрахункова схема розташування еталонної заготовки 1, оброблюваної заготовки в вихідній позиції 2 та оброблюваної заготовки в робочій позиції 3

Еталонна заготовка 1 розміщується таким чином, щоб вісь її обертання співпадала з віссю обертового стола O_B , а вісі її системи координат $X_{e.3}Z_{e.3}$ були паралельні осям системи координат обертового стола X_BZ_B . Точкою початку координат еталонної заготовки є точка $O_{e.3}$.

Оброблювана заготовка 2 розміщується на обертовому столі довільним чином, вісі її системи координат $X_{0.3}, Z_{0.3}$ повернуті відносно осей системи координат обертового стола $X_B Z_B$ на кут φ . Точкою початку координат оброблюваної заготовки є точка $O_{0.3}$.

Після повороту обертового стола верстата навкруги осі O_B на кут β_1 оброблювана заготовка займає першу з робочих позицій 3, при якій осі її системи координат $X'_{0.3}, Z'_{0.3}$ стають паралельними осям системи координат обертового стола $X_B Z_B$. Для першої робочої позиції кут $\beta_1 = \varphi$ (цей випадок буде розглянуто в роботі нижче). Точкою початку системи координат заготовки в цій позиції $X'_{0.3}, Z'_{0.3}$ є точка $O'_{0.3}$.

Схема відносного розташування систем координат верстата, обертового стола та заготовок представлена на рис. 2.

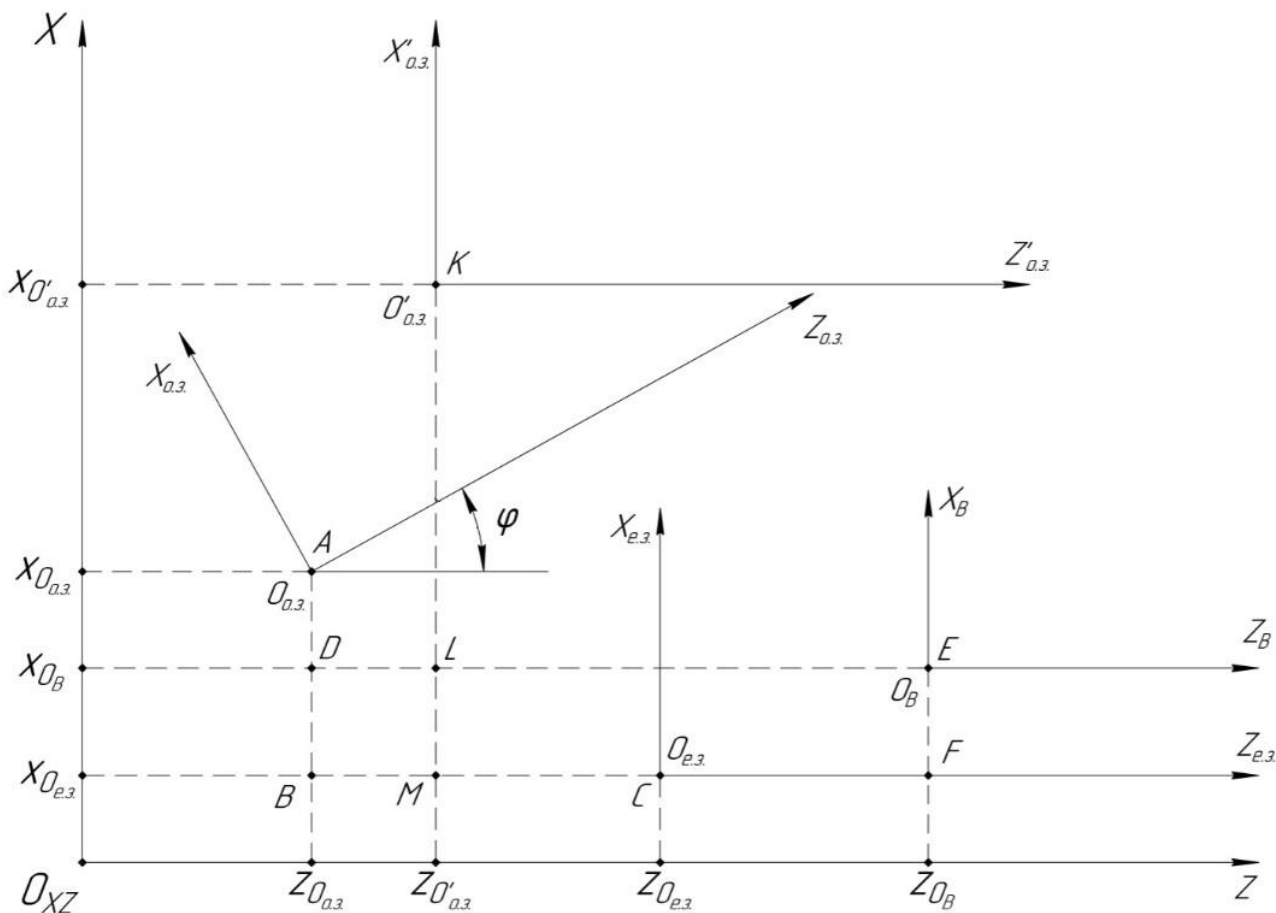


Рис. 2. Схема відносного розташування систем координат верстата, обертового стола та заготовок

Абсциса точки $O'_{0.3}$ в системі координат верстата XZ визначається за залежністю (рис. 2):

$$X_{0'_{0.3}} = KM + X_{0_{e.3}}. \quad (1)$$

Величину відрізка KM можна визначити з рис. 1:

$$KM = KL + EF, \quad (2)$$

де:

$$KL = KE \cdot \sin \delta;$$

$$KE = AE;$$

$$\sin \delta = \sin(\gamma + \varphi) = \sin \gamma \cdot \cos \varphi + \cos \gamma \cdot \sin \varphi;$$

$$\sin \gamma = \frac{AD}{AE}; \quad \cos \gamma = \frac{DE}{AE};$$

$$AD = AB - EF;$$

$$DE = BC + CF.$$

Підставивши останні залежності в вираз (2), отримаємо:

$$KM = AE \cdot \left(\frac{AB - EF}{AE} \cdot \cos \varphi + \frac{BC + CF}{AE} \cdot \sin \varphi \right) + EF,$$

або

$$KM = (AB - EF) \cdot \cos \varphi + (BC + CF) \cdot \sin \varphi + EF. \quad (3)$$

Зважаючи, що (рис. 2):

$$AB = X_{0_{0.3}} - X_{0_{e.3}};$$

$$EF = X_{0_B} - X_{0_{e.3}};$$

$$BC = Z_{0_{e.3}} - Z_{0_{0.3}};$$

$$CF = Z_{0_B} - Z_{0_{e.3}},$$

вираз (3) можна переписати

$$KM = (X_{0_{0.3}} - X_{0_B}) \cdot \cos \varphi + (Z_{0_B} - Z_{0_{0.3}}) \cdot \sin \varphi + X_{0_B} - X_{0_{e.3}}.$$

Підставивши останню залежність в вираз (1), отримаємо формулу для розрахунку абсциси точки $0'_{0.3}$ в системі координат верстата:

$$X_{0'_{0.3}} = (X_{0_{0.3}} - X_{0_B}) \cdot \cos \varphi + (Z_{0_B} - Z_{0_{0.3}}) \cdot \sin \varphi + X_{0_B}. \quad (4)$$

Аналогічним чином можна отримати залежність для розрахунку аплікати точки $0'_{0.3}$ в системі координат верстата XZ .

Із рис. 2:

$$Z_{0'_{0.3}} = Z_{0_{e.3}} - MC. \quad (5)$$

Величину відрізка MC можна визначити з рис. 1:

$$MC = LE - CF, \quad (6)$$

де:

$$LE = KE \cdot \cos \delta;$$

$$KE = AE;$$

$$\cos \delta = \cos(\gamma + \varphi) = \cos \gamma \cdot \cos \varphi - \sin \gamma \cdot \sin \varphi;$$

$$\cos \gamma = \frac{DE}{AE}; \quad \sin \gamma = \frac{AD}{AE};$$

$$DE = BC + CF;$$

$$AD = AB - EF.$$

Підставивши останні залежності в вираз (6), отримаємо:

$$MC = AE \cdot \left(\frac{BC + CF}{AE} \cdot \cos \varphi - \frac{AB - EF}{AE} \cdot \sin \varphi \right) - CF,$$

або

$$MC = (BC + CF) \cdot \cos \varphi - (AB - EF) \cdot \sin \varphi - CF. \quad (7)$$

Зважаючи, що (рис. 2):

$$BC = Z_{0_{e.3.}} - Z_{0_{o.3.}};$$

$$CF = Z_{0_B} - Z_{0_{e.3.}};$$

$$AB = X_{0_{o.3.}} - X_{0_{e.3.}};$$

$$EF = X_{0_B} - X_{0_{e.3.}},$$

вираз (7) можна переписати

$$MC = (Z_{0_B} - Z_{0_{o.3.}}) \cdot \cos \varphi - (X_{0_{o.3.}} - X_{0_B}) \cdot \sin \varphi - Z_{0_B} + Z_{0_{e.3.}}.$$

499

Підставивши останню залежність в вираз (5), отримаємо формулу для розрахунку аплікати точки $O'_{o.3.}$ в системі координат верстата:

$$Z_{O'_{o.3.}} = (Z_{0_{o.3.}} - Z_{0_B}) \cdot \cos \varphi + (X_{0_{o.3.}} - X_{0_B}) \cdot \sin \varphi + Z_{0_B}. \quad (8)$$

Розрахунок координат заготовки за залежностями (4) та (8) при наявності багатьох робочих позицій є трудомістким процесом, який може призвести до помилок. Для їх виключення та підвищення продуктивності розрахунків авторами створено комп'ютерну програму «Virtual Datum Reference (VDR)» [7].

Програма розраховує значення лінійних координат $X'_{0_{o.3.i}}$ та $Z'_{0_{o.3.i}}$ точки початку координат оброблюваної заготовки $O'_{o.3.}$ в i -тій робочій позиції за залежностями (4) та (8), а також значення кутової координати β_i точки $O'_{o.3.}$ за залежністю

$$\beta_i = \alpha_i + \varphi,$$

де α_i – кут повороту еталонної заготовки в i -ту робочу позицію.

Для першої з робочих позицій, при якій осі системи координат оброблюваної заготовки $X'_{o.3.}, Z'_{o.3.}$ паралельні осям системи координат обертового стола X_B, Z_B , кут $\alpha_1 = 0$, кут $\beta_1 = \varphi$, для другої – $\beta_2 = \alpha_2 + \varphi$ тощо.

Програмний продукт розроблений з використанням мови програмування C#. Алгоритм програми представлений на рис 3.

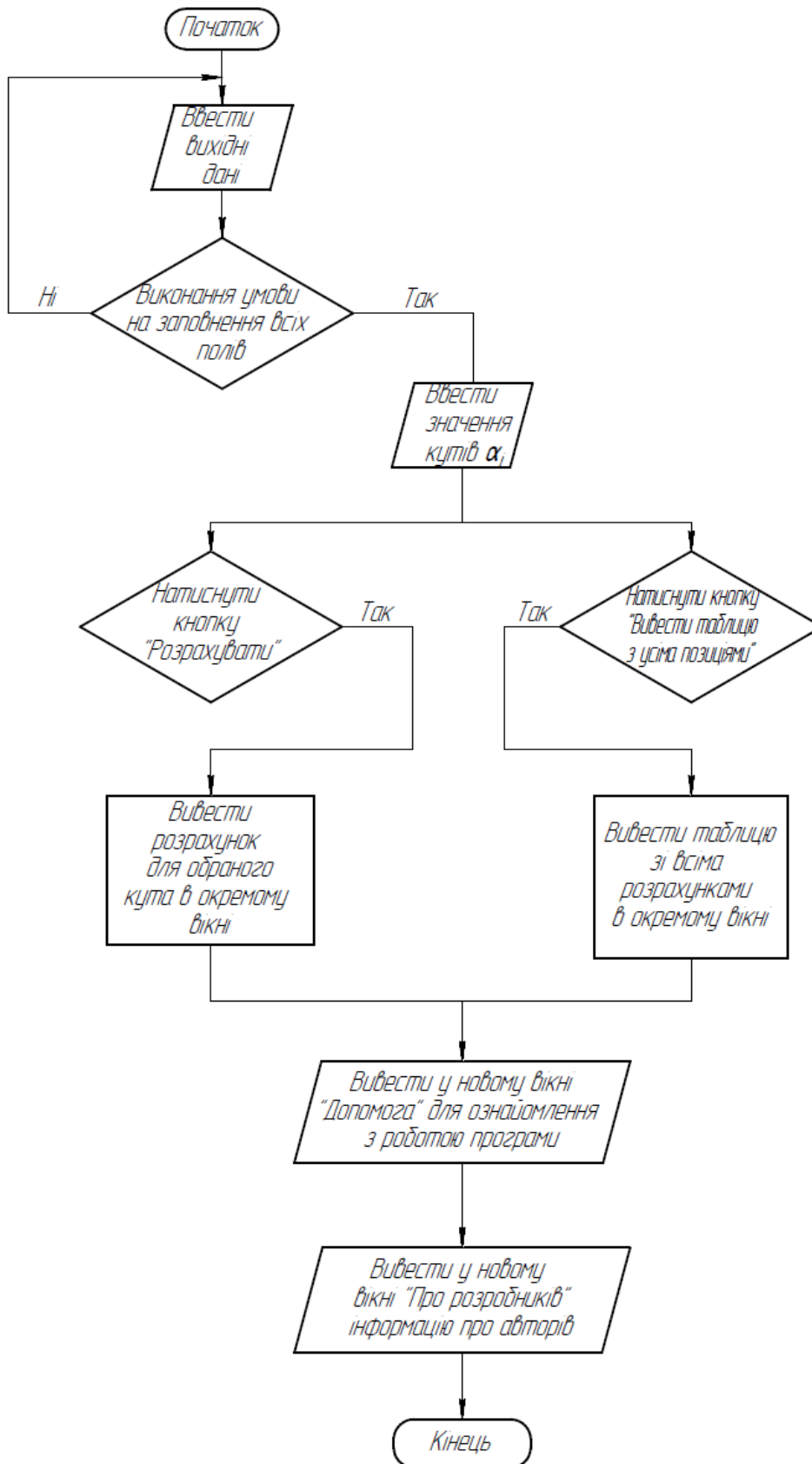


Рис. 3. Алгоритм роботи програмного продукту «Virtual Datum Reference»

Програма гарантує точність та правильність розрахунків, має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Для тестування її роботи в пам'ять програми внесені тестові вихідні дані.

Вихідними даними для роботи програми є: координати розташування точки початку системи координат еталонної та оброблюваної заготовок в системі координат $X_B Z_B$, кутове відхилення розташування систем координат оброблюваної та еталонної заготовок, кількість робочих позицій.

Після запуску відкривається головне вікно програми (рис. 4.), призначене для введення вихідних даних. Після натискання кнопки «Далі» відкривається друге вікно програми (рис. 5), призначене для введення значень кутів α_i .

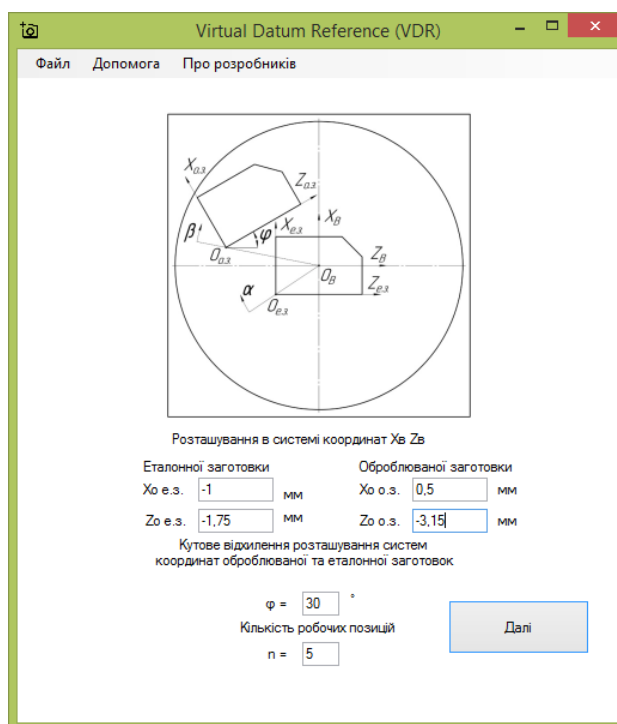


Рис. 4. Головне вікно програми

Результати розрахунків можна отримати як для окремої робочої позиції (рис. 6), так і зразу для всіх позицій (рис. 7), натиснувши відповідні кнопки на вікні програми з введеними значеннями кутів α_i .

Для зручності інтерфейсом програми передбачено кнопки «Видалити попередні розрахунки» та «Очистити дані значення кутів», що робить її придатною до багаторазового використання без перезавантаження.

Програма дає можливість зберегти отримані дані у файлі формату .txt, натиснувши на головному вікні кнопки «Файл» → «Зберегти».

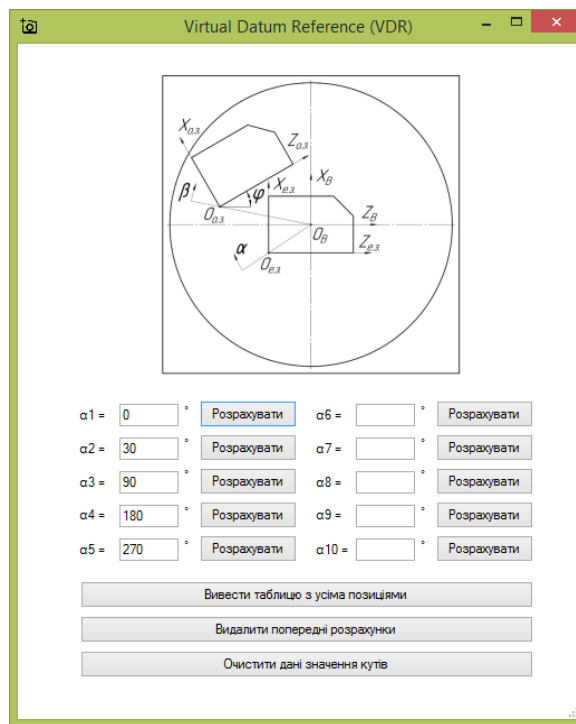
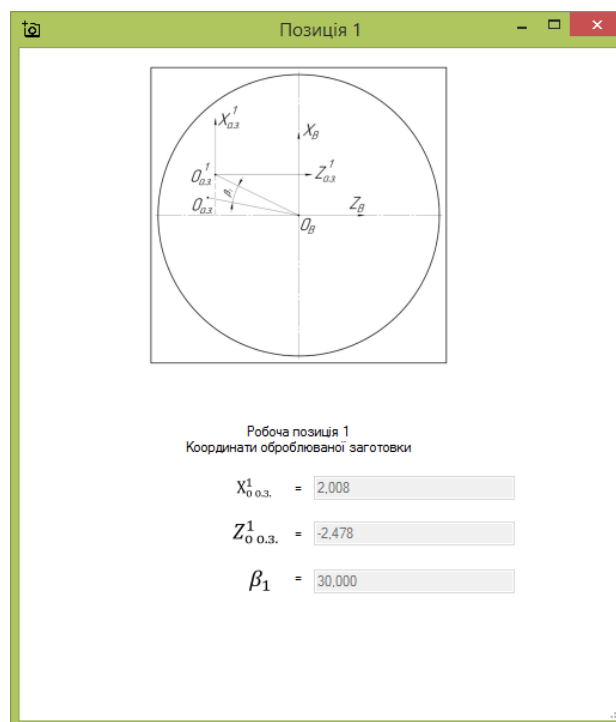
Рис. 5. Вікно для введення значень кутів α_i 

Рис. 6. Вікно з розрахунками координат для першої позиції

З головного вікна програми можна перейти до вікна «Допомога», де описано призначення кожного параметра, який задіяний в програмі (рис. 8). Також можна отримати інформацію про розробників програми, натиснувши відповідну кнопку (рис. 9).

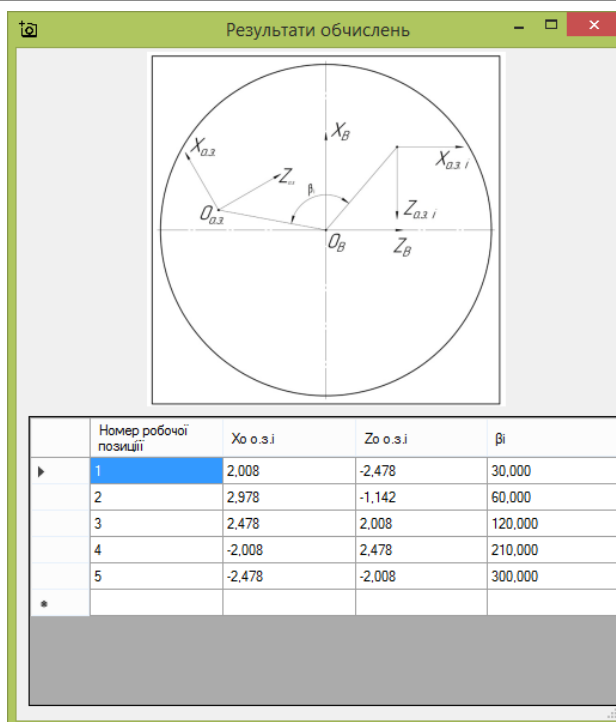


Рис. 7. Таблиця з результатами обчислень координат

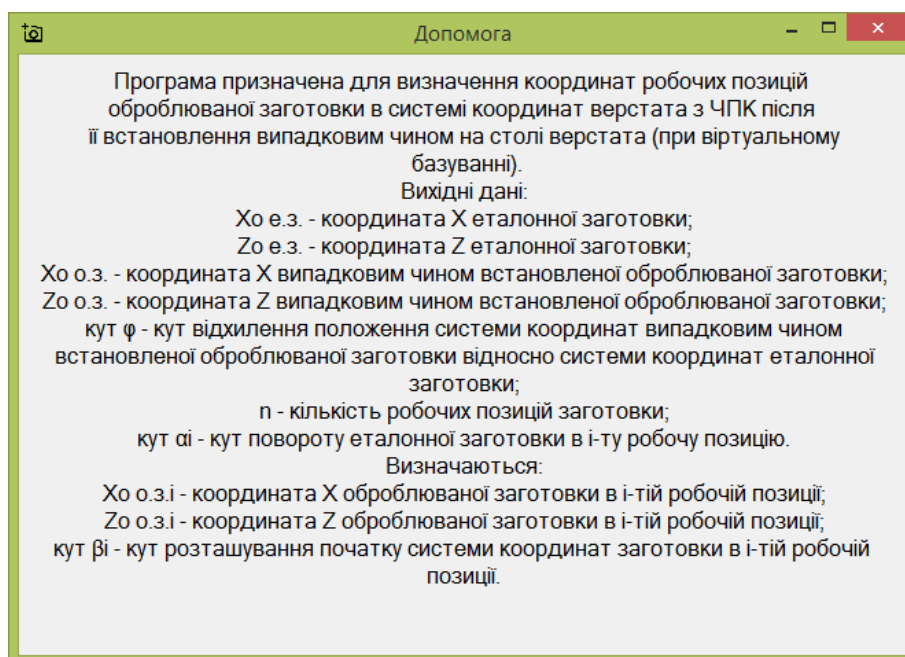


Рис. 8. Вікно «Допомога»

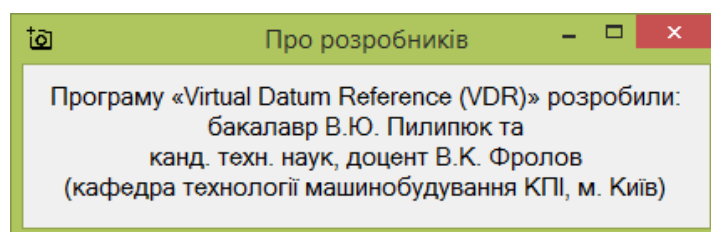


Рис. 9. Вікно «Про розробників»

Висновки:

В результаті теоретичних досліджень отримано залежності для розрахунку кутової та лінійних координат робочих позицій оброблюваної заготовки при її віртуальному базуванні на обертовому столі чотирьохосового багатоцільового верстата вертикальної компоновки. Для автоматизації процесу розрахунків створено програмний продукт «Virtual Datum Reference (VDR)».

Список використаних джерел

1. Heidenhain. Контактные щупы для станков. 06/2019. – 44 с. – Режим доступу: <https://www.heidenhain.ua/fileadmin/pdb/media/img/1113984-R0.pdf> (дата звернення 10.02.2020 р.). – Назва з екрана.

2. Renishaw. Контактные измерительные системы для станков с ЧПУ. – 56 с. – Режим доступу: http://www.koda.ua/download/System_Renishaw_for_machine_tool.pdf (дата звернення 10.02.2020 р.). – Назва з екрана.

3. Поляков А. Н. Использование системы измерения детали на станке 400V на базе измерительного щупа TC50: учебное пособие / А. Н. Поляков, А. Н. Гончаров; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2014. – 132 с. https://www.docme.ru/doc/1197309/9305.ispol._zovanie-sistemy-izmereniya-detali-na-stanke-400...

4. Фролов В. К. Спосіб оброблення заготовок на вертикальному багатоцільовому верстаті з ЧПК : пат. на корисну модель № 142291, Україна, МПК В23Q 15/22, В23Q 17/22 / В. К. Фролов, Д. К. Шуплецов, В. Ю. Пилипюк, К. Ю. Рекурн, М. М. Гладський, В. В. Медведєв. – № u201911980 ; заявл. 17.12.19 ; опубл. 25.05.2020, бюл. № 10.

5. Фролов В. К. Спосіб оброблення заготовок на горизонтальному багатоцільовому чотириосовому верстаті з ЧПК : пат. на корисну модель № 142336, Україна, МПК В23Q 15/22, В23Q 17/22 / В. К. Фролов, Д. К. Шуплецов, В. Ю. Пилипюк, К. Ю. Рекурн, М. М. Гладський, В. В. Медведєв, О. О. Фролова, К. С. Барандич. – № u202000152 ; заявл. 09.01.20 ; опубл. 25.05.2020, бюл. № 10.

6. Фролов В. К. Система контролю розташування заготовок на верстаті з ЧПК фрезерної групи : заявка на корисну модель, Україна, МПК В23Q 15/22, В23Q 17/22 / В. К. Фролов, В. Ю. Пилипюк, М. М. Гладський, Д. К. Шуплецов,

В. В. Медведєв, К. С. Барандич, Ю. В. Лашина. – № u202000859 ; заявл. 11.02.20. Висновок про видачу деклараційного патенту від 07.05.2020.

7. Пилипюк В. Ю. Комп'ютерна програма «Virtual Datum Reference (VDR)» : заявка на реєстрацію авторського права на твір, Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України (Мінекономіки) / В. Ю. Пилипюк, В. К. Фролов. – № 99093 ; заявл. 26.05.20.