

УДК 621.941.1

В.Ю. Пилипюк, В.К. Фролов

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

Визначення реального положення заготовок при віртуальному базуванні на верстатах з ЧПК

В технології машинобудування при обробленні заготовок на верстатах відомі три способи їх базування:

- 1) за допомогою вивірки;
- 2) базування в пристроях з автоматичною орієнтацією заготовки;
- 3) базування випадковим чином з подальшим визначенням реального положення заготовки – так зване «віртуальне базування».

Вивірка використовується при виготовленні деталей в одиничному і, інколи, в малосерійному виробництві. Базами при цьому слугують лінії і точки розмітки. Положення заготовки відносно системи координат верстата регулюють вручну з використанням універсального вимірювального інструмента. Спосіб є трудомістким, точність базування невисока і не перевищує точність використовуваного вимірювального інструмента.

Базування в універсальних та спеціальних пристроях використовується в серійному і масовому виробництвах. При цьому пристрої зорієнтовані відносно системи координат верстата, а заготовка автоматично орієнтується відносно установчих елементів пристрою. Спосіб є високопродуктивним, але не завжди точним. Крім похибки базування, яка є невід'ємною характеристикою деяких схем базування, виникають похибка пристрою і похибка закріплення. Крім того, суттєвою є вартість самого пристрою, яка збільшує загальну вартість оброблення деталей.

Спосіб віртуального базування виник при появі на верстатах систем ЧПК, які поєднані з контрольно-вимірювальними системами. Наразі розповсюджений тільки один спосіб визначення положення заготовки при її віртуальному базуванні – за допомогою вимірювальних шупів. Шляхом торкання шупом заготовки визначають її реальні координати, передають дані до системи ЧПК і корегують керуючу програму.

Недоліком способу є те, що для визначення положення заготовки навіть в двохкоординатній системі необхідно виконати декілька вимірювань в різних точках заготовки, що є малопродуктивним. Для збільшення продуктивності процесу відомі виробники вимірювальних систем для верстатів з ЧПК Heidenhain [1] та Renishaw [2] рекомендують користувачам певні траєкторії переміщення щупа для різних конфігурацій заготовки. Важливими для продуктивності процесу вимірювання є також конструкція і принцип дії щупа. Дослідження, представлені в [3], показали, що використання щупів різних конструкцій для виконання одних і тих самих вимірювальних завдань може розрізнятися в часі в 2-4 рази. Крім того, недоліком таких вимірювальних систем є висока вартість – точні щупи коштують більше 5000 €.

Метою роботи є підвищення продуктивності процесу визначення реального положення заготовки при віртуальному базуванні на верстатах з ЧПК.

Авторами запропоновано визначати реальне положення заготовки цифровим фотографуванням [4, 5].

Розглянемо реалізацію способу на вертикальному багатоцільовому верстаті з ЧПК.

На стіл верстата встановлюють еталонну заготовку 1 таким чином, щоб осі її системи координат $X_{e.z.}, Y_{e.z.}, Z_{e.z.}$ в горизонтальній площині та в перпендикулярних до неї двох вертикальних площинах були паралельні осям системи координат верстата XYZ . При цьому положення базових поверхонь еталонної заготовки визначається координатами $x_{1 e.z.}, x_{2 e.z.}, y_{1 e.z.}, y_{2 e.z.}, z_{1 e.z.}, z_{2 e.z.}$ відносно точки початку системи координат верстата XYZ . Виконують цифрове фотографування дійсного положення еталонної заготовки в горизонтальній площині XU (рис. 1) і в вертикальних площинах XZ та YZ . Цифрові фотографії дійсного положення еталонної заготовки передають до комп'ютерної програми. Еталонну заготовку 1 знімають зі стола верстата.

На стіл верстата встановлюють оброблювану заготовку 2 довільним чином. При цьому положення базових поверхонь оброблюваної заготовки визначається координатами $x_{1 o.z.}, x_{2 o.z.}, y_{1 o.z.}, y_{2 o.z.}, z_{1 o.z.}, z_{2 o.z.}$ відносно точки початку системи координат верстата XYZ , а осі її системи координат $X_{o.z.}, Y_{o.z.}$ відносно осей систем координат верстата XU та еталонної заготовки $X_{e.z.}, Y_{e.z.}$ в горизонтальній площині XU повернуті на кут φ . Виконують цифрове

фотографування дійсного положення оброблюваної заготовки в горизонтальній площині XU (рис. 2) і в вертикальних площинах XZ та YZ . Цифрові фотографії дійсного положення оброблюваної заготовки передають до комп'ютерної програми.

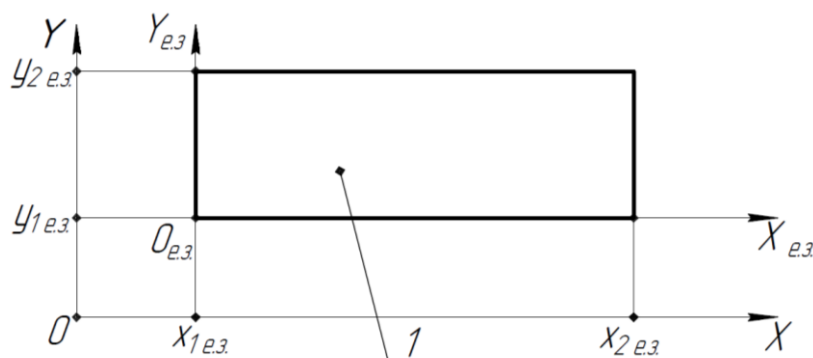
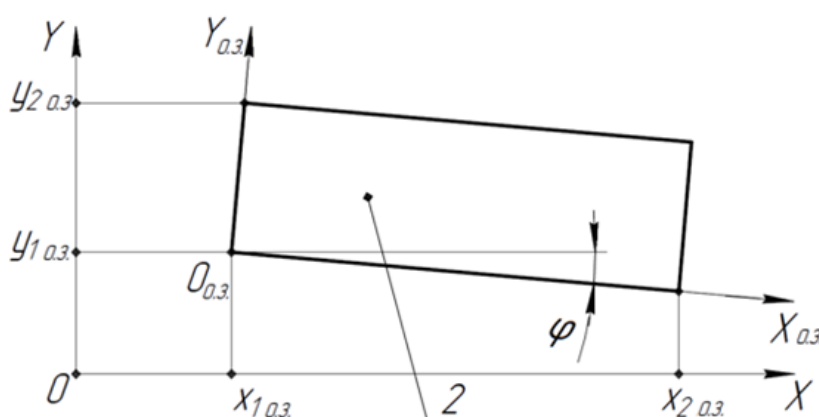


Рис. 1. Зображення дійсного положення еталонної заготовки відносно осей системи координат верстата в горизонтальній площині XU



444

Рис. 2. Зображення дійсного положення оброблюваної заготовки відносно осей системи координат верстата в горизонтальній площині XU

Отримані цифрові фотографії дійсних положень еталонної та оброблюваної заготовок, здійснені з одних і тих же позицій, суміщають попарно за допомогою комп'ютерної програми (рис. 3).

Зображення дійсного положення оброблюваної заготовки в горизонтальній площині XU повертають за допомогою комп'ютерної програми навкруги точки початку $O_{0.3}$ її системи координат $X_{0.3}Y_{0.3}$ таким чином, щоб вісі корегованого положення системи координат оброблюваної заготовки

$X'_{0.3}, Y'_{0.3}$. стали паралельними осям систем координат еталонної заготовки $X_{e.3}, Y_{e.3}$. та верстата XU (рис. 4).

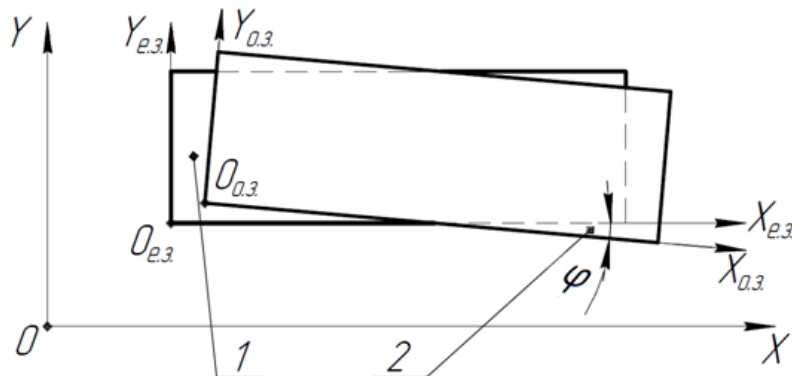


Рис. 3. Суміщене зображення дійсних положень еталонної та оброблюваної заготовок відносно осей системи координат верстата в горизонтальній площині XU

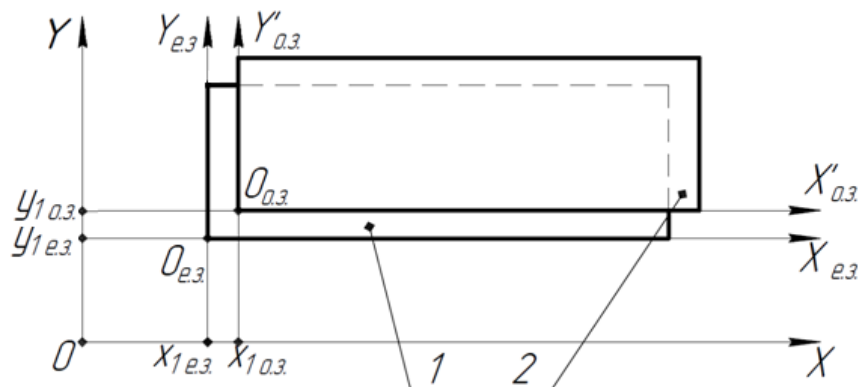


Рис. 4. Суміщене зображення дійсного положення еталонної заготовки та корегованого положення оброблюваної заготовки відносно осей системи координат верстата в горизонтальній площині XU

Визначають величину кута повороту φ та розташування точки початку системи координат оброблюваної заготовки $X_{0.3}, Y_{0.3}, Z_{0.3}$. відносно точки початку системи координат еталонної заготовки $X_{e.3}, Y_{e.3}, Z_{e.3}$. Куту поправку φ та лінійні поправки $\Delta_x = x_{10.3} - x_{1e.3}$, $\Delta_y = y_{10.3} - y_{1e.3}$, $\Delta_z = z_{10.3} - z_{1e.3}$. вводять в керуючу програму верстата з урахуванням їхнього знаку.

Виконують оброблення заготовки за допомогою корегованої керуючої програми.

При обробленні наступних заготовок партії виконують тільки цифрове фотографування дійсного положення кожної оброблюваної заготовки і порівнюють її цифрові фотографії з цифровими фотографіями еталонної заготовки, отриманими перед обробленням першої заготовки даної партії.

На горизонтальному багатоцільовому чотирьохосьовому верстаті з ЧПК спосіб реалізують наступним чином.

На обертовий стіл 1 з вертикальною віссю обертання B (рис. 5) встановлюють еталонну заготовку 2 таким чином, щоб осі її системи координат $X_{e.з.}, Y_{e.з.}, Z_{e.з.}$ в горизонтальній площині та в перпендикулярних до неї двох вертикальних площинах були паралельні осям системи координат верстата XYZ , а вертикальна вісь її обертання була суміщена з вертикальною віссю B обертового стола. При цьому положення точки початку системи координат еталонної заготовки $O_{e.з.}$ відносно точки початку системи координат верстата O_{XZ} в горизонтальній площині XZ визначається координатами $x_{0\ e.з.}, z_{0\ e.з.}$.

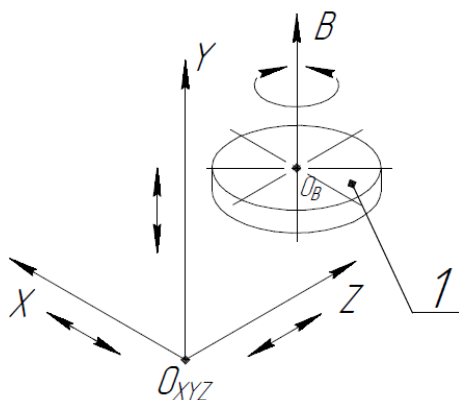


Рис. 5. Схема системи координат горизонтального багатоцільового чотирьохосьового верстата з ЧПК

Виконують цифрове фотографування положення еталонної заготовки в горизонтальній площині XZ (рис. 6) і в вертикальних площинах YZ та XU . Цифрові фотографії 3 положення еталонної заготовки 2 передають до комп'ютерної програми.

Еталонну заготовку 2 оброблюють в технологічній послідовності, при необхідності обертаючи стіл 1 навкруги осі B , та знімають з верстата.

На обертовий стіл верстата 1 встановлюють оброблювану заготовку б довільним чином. При цьому положення точки початку системи координат оброблюваної заготовки $O_{o.з.}$ відносно точки початку системи координат верстата O_{XZ} в горизонтальній площині XZ визначається координатами $x_{0\ o.з.}, z_{0\ o.з.}$.

$Z_{0.0.3}$, а осі її системи координат $X_{0.3}, Z_{0.3}$ відносно осей систем координат верстата XZ та еталонної заготовки $X_{e.3}, Z_{e.3}$ в горизонтальній площині XZ повернуті на кут φ .

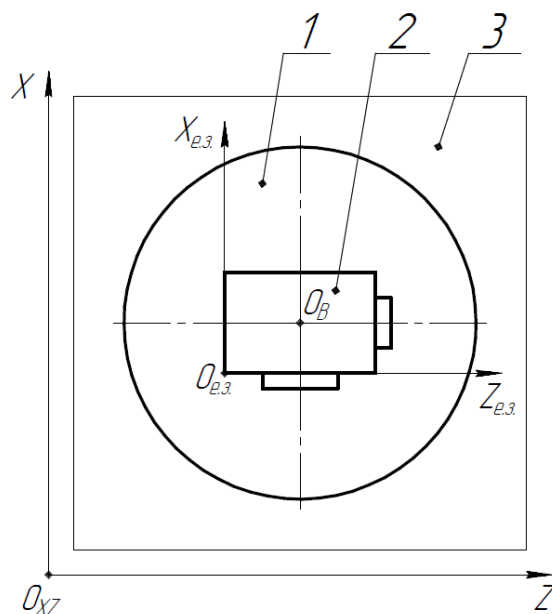


Рис. 6. Зображення положення еталонної заготовки відносно осей системи координат верстата в горизонтальній площині XZ

Виконують цифрове фотографування положення оброблюваної заготовки в горизонтальній площині XZ (рис. 7) і в вертикальних площинах YZ та XU . Цифрові фотографії 7 положення оброблюваної заготовки 6 передають до комп'ютерної програми.

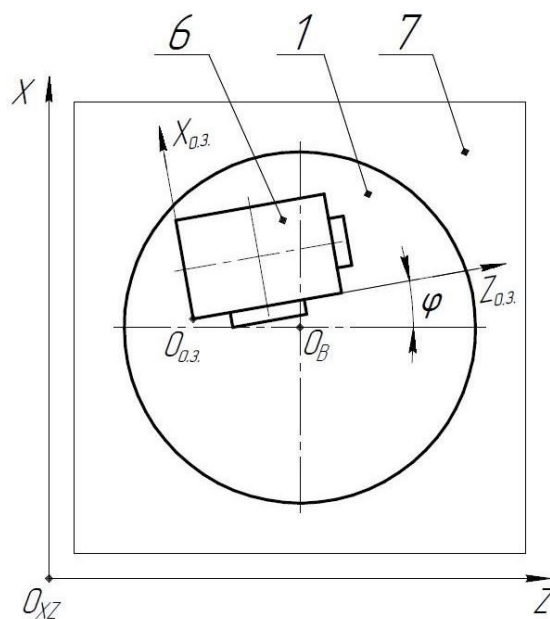


Рис. 7. Зображення положення оброблюваної заготовки відносно осей системи координат верстата в горизонтальній площині XZ

Отримані цифрові фотографії 3 та 7 положень еталонної та оброблюваної заготовок, здійснені з одних і тих же позицій, суміщають попарно за допомогою комп'ютерної програми, накладаючи цифрову фотографію оброблюваної заготовки на цифрову фотографію еталонної заготовки (рис. 8).

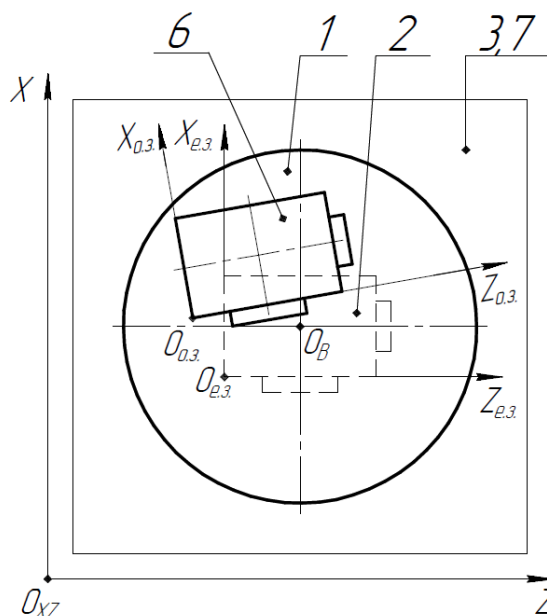


Рис. 8. Суміщене зображення положень еталонної та оброблюваної заготовок в горизонтальній площині XZ , отримане накладанням цифрової фотографії оброблюваної заготовки на цифрову фотографію еталонної заготовки

За допомогою комп'ютерної програми цифрову фотографію 7 оброблюваної заготовки 6 в горизонтальній площині XZ орієнтують відносно цифрової фотографії 3 еталонної заготовки 2 таким чином, щоб осі системи координат оброблюваної заготовки $X_{o.z}, Z_{o.z}$ співпали з осями системи координат еталонної заготовки $X_{e.z}, Z_{e.z}$ (рис. 9). При неможливості ідентифікації кутового розташування оброблюваної заготовки відносно еталонної за цифровими фотографіями 7 та 3 (якщо контури заготовок в горизонтальній площині XZ осесиметричні), остаточну ідентифікацію виконують з використанням суміщених попарно цифрових фотографій в вертикальних площинах YZ та XU .

Програмно визначають величину кутового відхилення φ між осями системи координат оброблюваної заготовки $X_{o.z}, Z_{o.z}$ та еталонної заготовки $X_{e.z}, Z_{e.z}$ в горизонтальній площині XZ і первісне розташування точки початку системи координат оброблюваної заготовки $O_{o.z}$ відносно точки початку системи координат еталонної заготовки $O_{e.z}$ (рис. 10).

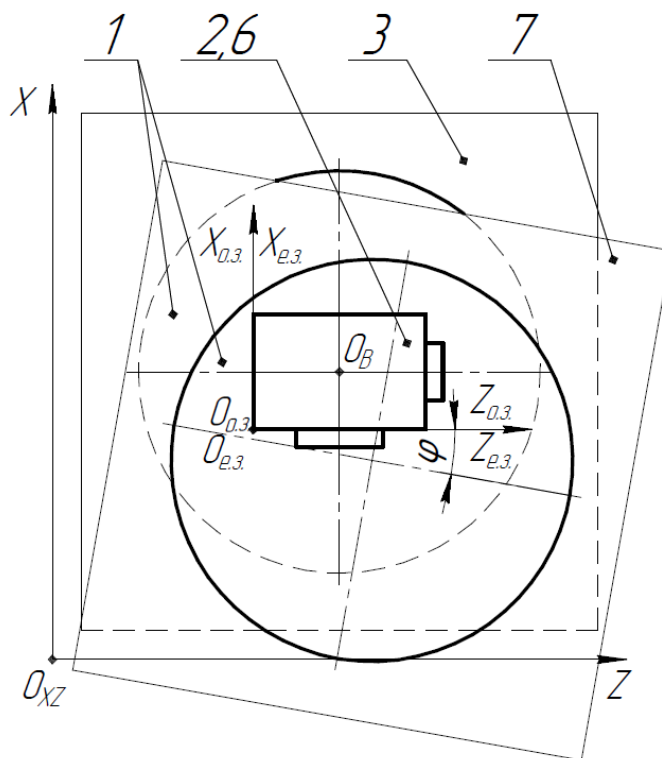


Рис. 9. Суміщене зображення положень еталонної та оброблюваної заготовок зі співпадаючими системами координат в горизонтальній площині XZ, отримане поворотом та зсувом цифрової фотографії оброблюваної заготовки відносно цифрової фотографії еталонної заготовки

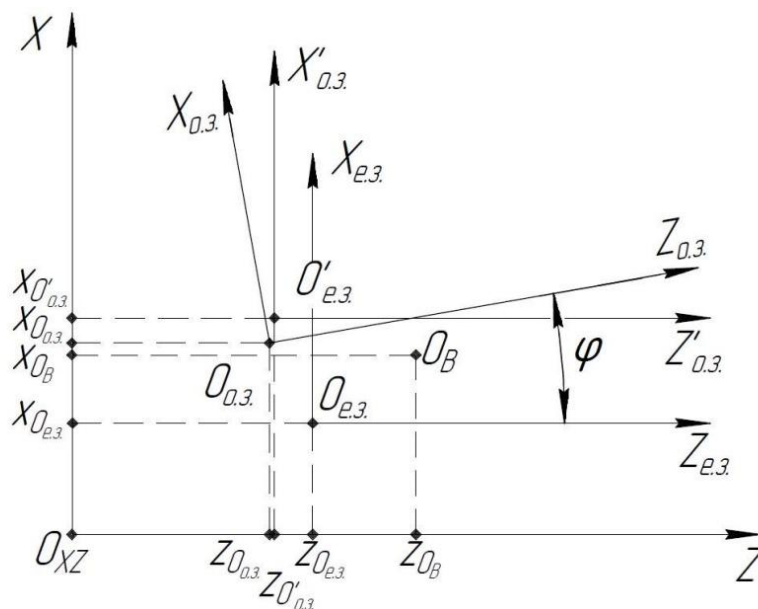


Рис. 10. Схема відносного розташування осей систем координат верстата XZ, еталонної заготовки $X_{e.3}, Z_{e.3}$, оброблюваної заготовки $X_{o.3}, Z_{o.3}$, повернутої в робоче положення оброблюваної заготовки $X'_{o.3}, Z'_{o.3}$ та центру обертання обертового стола верстата O_B

За допомогою комп'ютерної програми розраховують координати точки початку системи координат робочого положення оброблюваної заготовки $O'_{0.3}$ за формулами:

$$x_{O'_{0.3}} = (x_{0.3} - x_{0B}) \cdot \cos \varphi + (z_{0B} - z_{0.3}) \cdot \sin \varphi + x_{0B};$$

$$z_{O'_{0.3}} = (z_{0.3} - z_{0B}) \cdot \cos \varphi + (x_{0.3} - x_{0B}) \cdot \sin \varphi + z_{0B}.$$

Кутове відхилення φ між осями системи координат оброблюваної заготовки $X_{0.3}, Z_{0.3}$ та еталонної заготовки $X_{e.3}, Z_{e.3}$ в горизонтальній площині XZ корегують поворотом обертового стола 1 верстата навкруги осі B на кут φ (рис. 11), а лінійні відхилення корегують введенням в керуючу програму лінійних поправок на розташування системи координат оброблюваної заготовки.

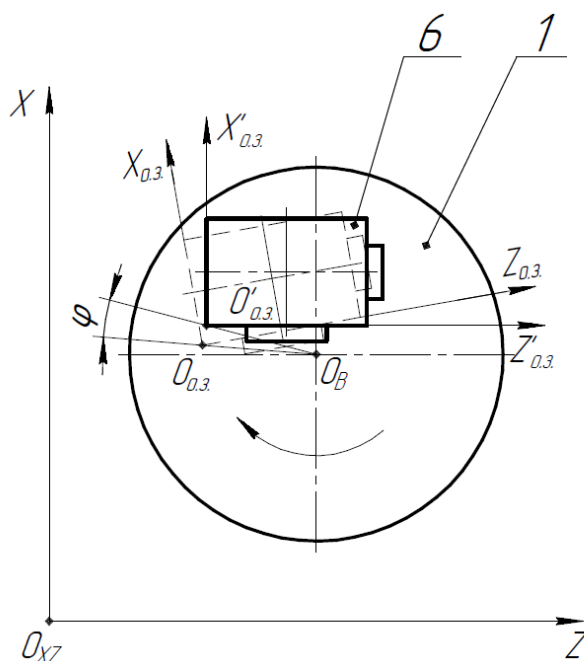


Рис. 11. Робоче положення оброблюваної заготовки після повороту обертового стола верстата навкруги центру обертання O_B на кут φ

Заготовку 6 оброблюють в технологічній послідовності за допомогою корегованої керуючої програми, при необхідності обертаючи стіл 1 навкруги осі B , та знімають з верстата.

При обробленні наступних заготовок партії виконують цифрове фотографування положення кожної оброблюваної заготовки і порівнюють її цифрові фотографії з цифровими фотографіями еталонної заготовки, отриманими перед її обробленням.

Запропоновані способи визначення реального положення заготовок при віртуальному базуванні можуть бути реалізовані за допомогою системи контролю розташування заготовок [6].

Структурна схема системи представлена на рис. 12, схема механічних та електричних підключень – на рис. 13.

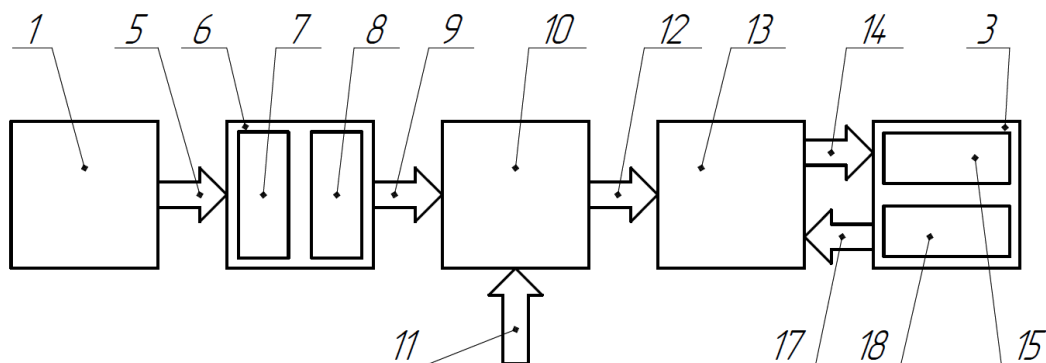


Рис. 12. Структурна схема системи

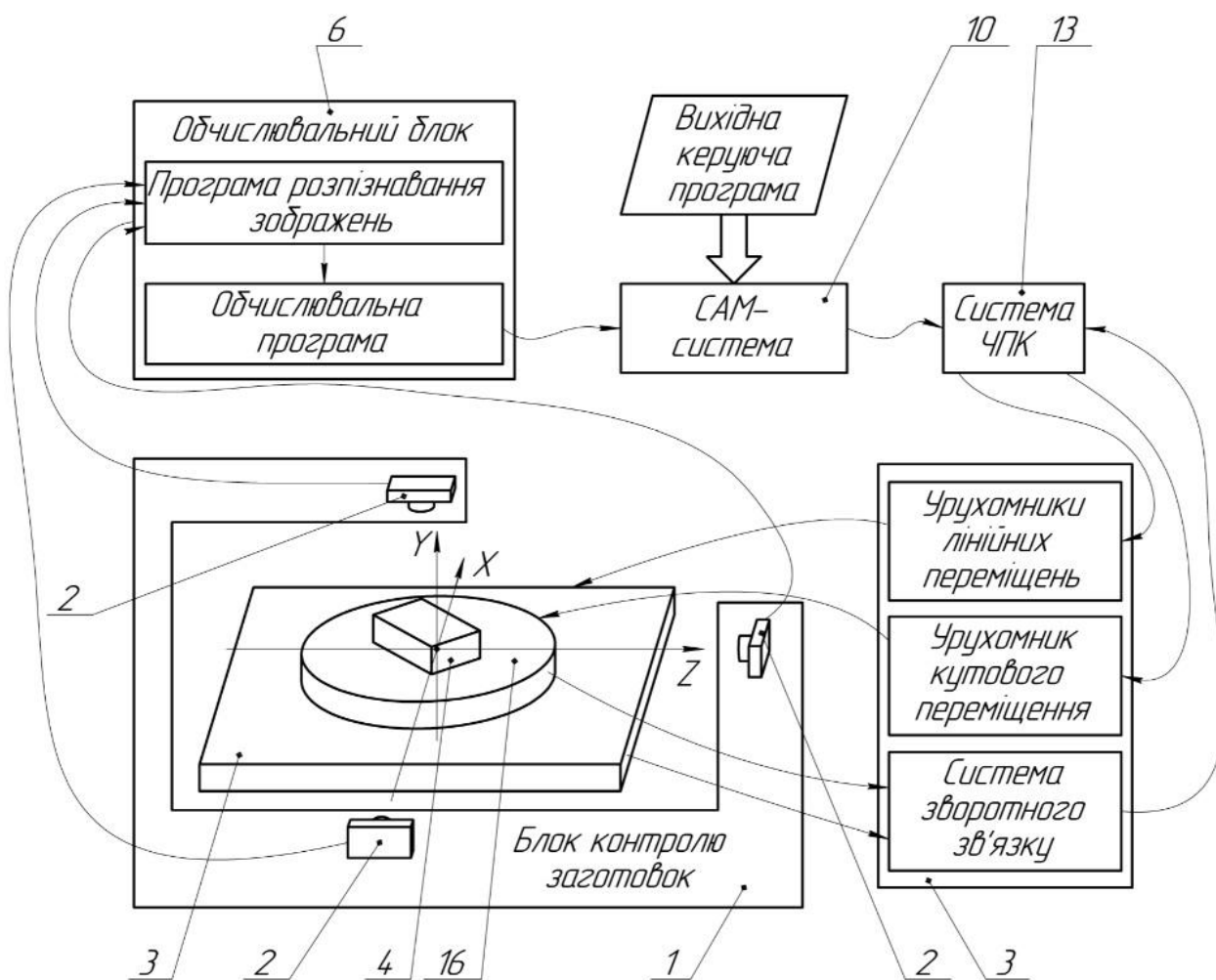


Рис. 13. Схема механічних та електричних підключень системи

Система контролю розташування заготовок складається з блоку контролю заготовок 1, виконаного у вигляді цифрових фотоапаратів 2 в кількості від одного до трьох, об'єкти яких розташовані відповідно в одній, або двох, або трьох взаємно перпендикулярних площинах, що паралельні площинам системи координат XYZ стола 3 верстата, і направлені на позицію встановлення заготовок 4. Блок контролю заготовок 1 з'єднаний інтерфейсом 5 з обчислювальним блоком 6, що виконаний на базі комп'ютера та складається з програми розпізнавання зображень 7 та обчислювальної програми 8. Обчислювальний блок 6 зв'язаний інтерфейсом 9 з САМ-системою 10 верстата. САМ-система 10 забезпечена також другим вхідним інтерфейсом 11 та вихідним інтерфейсом 12, що з'єднує її з системою ЧПК 13 верстата. Система ЧПК 13 інтерфейсом 14 з'єднана з урухомниками 15 лінійних переміщень вздовж координатних осей верстата і кутового переміщення обертового столу 16 та інтерфейсом 17 з енкодерами системи зворотного зв'язку 18.

Система працює наступним чином.

На обертовий стіл 16 встановлюють заготовку 4 та еталонно орієнтують її відносно системи координат верстата. Виконують фотографування заготовки за допомогою цифрових фотоапаратів 2. Для ідентифікації положення заготовки в просторі може бути використаний один, або два, або три фотоапарати, розташованих в одній, або двох, або трьох взаємно перпендикулярних площинах. Цифрові фотографії передають інтерфейсом 5 до обчислювального блоку 6 та зберігають в програмі розпізнавання зображень 7. Заготовку оброблюють за вихідною керуючою програмою, завантаженою до САМ-системи 10 через інтерфейс 11, та знімають з верстата.

На обертовий стіл 16 довільним чином встановлюють наступну заготовку з партії. Виконують фотографування заготовки за допомогою цифрових фотоапаратів 2. При цьому використовують стільки ж фотоапаратів, як і при фотографуванні еталонно зорієнтованої заготовки. Цифрові фотографії передають інтерфейсом 5 до обчислювального блоку 6 в програму розпізнавання зображень 7, де порівнюють попарно з цифровими фотографіями еталонно зорієнтованої заготовки, суміщаючи та ідентифікуючи зображення. Величини лінійних та кутового зсувів накладених одна на одну фотографій передають до обчислювальної програми 8, де визначають відхилення розташування системи координат заготовки відносно системи координат

верстата. Отримані величини відхилень передають інтерфейсом 9 до САМ-системи 10, де вихідну керуючу програму корегують та передають інтерфейсом 12 до системи ЧПК 13 верстата. Система ЧПК через інтерфейс 14 керує урухомниками 15, отримуючи через інтерфейс 17 інформацію про просторове розташування столу 16 з заготовкою 4 від енкодерів системи зворотного зв'язку 18. Заготовку оброблюють за корегованою керуючою програмою та знімають з верстата.

Висновки:

Запропоновані способи визначення реального положення заготовок та система контролю їх розташування при віртуальному базуванні на верстатах з ЧПК підвищує продуктивність визначення положення оброблюваної заготовки на столі верстата та збільшує загальну продуктивність оброблення.

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. Рекун, 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 чотириосьовому 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. Рекун, М. М. Гладський, В. В. Медведєв, О. О. Фролова, К. С. Барандич. – № u202000152 ; заявл. 09.01.20 ; опубл. 25.05.2020, бюл. № 10.

б. 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.