

УДК 621.914.3

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-25-12

**Кузнєцов Ю. М., Кобець І. Р.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ЧОТИРЬОХКООРДИНАТНИЙ НАСТІЛЬНИЙ ВЕРСТАТ ПОРТАЛЬНОГО КОМПОНУВАННЯ

*В статті відмічена актуальність і сформульована проблема створення малогабаритних верстатів з комп'ютерним керуванням, наведений огляд виробників і конструкцій таких верстатів, запропоновані варіанти настільного верстата портального компонування. На прикладі виготовлення складної деталі показана процедура розробки керуючої програми. Обґрунтована ефективність використання створених верстатів в навчальному процесі і у виробництві.*

**Ключові слова:** настільний фрезерний верстат, гвинтова передача, приводи координатних переміщень, агрегатно-модульний принцип, керуюча програма, модернізація, модуль.

**Постановка проблеми.** Верстатобудування, як ключова галузь машинобудування, грає важливу роль у розвитку промисловості та національних економік. У змінному сучасному світі, зростаюча конкуренція, швидкі зміни в технологічному ландшафті і загальний перехід до цифрової індустрії ставлять перед верстатобудівними підприємствами ряд складних завдань і можливостей. Розвиток промисловості та її галузева структура визначають стан індустріального та технологічного рівня економіки країни [2,5]. Сучасний прогрес технологій виробництва невпинно розвивається, вимагаючи від інженерів і вчених постійного пошуку нових рішень та технологій для підвищення ефективності та автоматизації виробничих процесів. Для цього потрібне створення в навчальному процесі сучасної лабораторної дослідницької бази [8,10]. В умовах обмеженого фінансування вищої освіти доцільно виготовляти малогабаритні настільні верстати з комп'ютерним керуванням, які можуть використовуватися як для навчального процесу, так і на підприємствах для виготовлення деталей невеликих розмірів.

Серед перспектив розвитку машинобудування і, зокрема, верстатобудування можна відмітити [1,2]: 1) підвищення продуктивності обробки; 2) підвищення якості продукції, що виготовляється; 3) зменшення витрат і сировино-енергетичних ресурсів; 4) зменшення долі фізичної праці людини; 5) полегшення інтелектуальної праці людини; 6) розширення технологічних можливостей обладнання.

Для досягнення вищевказаних цілей необхідно впроваджувати наступні рекомендації [3]: оптимізувати існуючі виробничі потужності, автоматизувати та залучати передові цифрові технології для налагодження робочих процесів; прискорювати впровадження технологічних інновацій та інноваційних процесів; підвищувати кваліфікаційний рівень працівників машинобудування. Водночас науковцям і підприємцям варто продовжувати дослідження процесу розробки та впровадження нових технологій у машинобудуванні, адже використання сучасних технологій стає необхідністю, яка запобігає ризикам втрати актуальності на ринку сучасної промисловості.

**Основне завдання та одержані результати роботи.** Метою роботи є аналіз відомих малогабаритних верстатів і створення нового з розширеними функціональними можливостями.

На сучасному ринку інструментів і обладнання для малого та середнього виробництва існує багато виробників, що спеціалізуються на малогабаритних верстатах. Це обладнання відзначається високою мобільністю, компактністю та зручністю в експлуатації.

На ринку малогабаритних верстатів з ЧПК можна зустріти такі компанії як ПП «АНДІС-ТЕХНО», CNC Machines, Raptor CNC, AST3D.

Фрезерний гравірувальний верстат із ЧПК "SMART Light" (рис.1) від SmartCNC оснащений сенсорним екраном і автономним контролером (може працювати без підключення до ПК) та відмінно підійде для роботи з усіма видами дерева та м'яких металів. Верстат виготовлений з алюмінієвого профілю. В якості напрямних використовуються вали на опорі SBR20 та підшипники SBR20UU, які забезпечують високу точність і плавність переміщення. В якості приводу осі Z використовується кулькова гвинтова пара (КГП) [10].



Рисунок 1 – Фрезерний гравірувальний верстат з ЧПК "SMART Light"

Компанія CNC MACHINES – виробник 3-х координатного фрезерного верстата з ЧПК «Сокіл 3040» (рис.2) [11], призначеного для опрацювання 2D і 3D моделей, а також тіл обертання (зі встановленим модулем 4-ї осі). Ця модель вирізняється високою точністю і підвищеною швидкістю обробки, завдяки жорсткій станині з алюмінієвих сплавів. Безколекторний мотор-шпиндель 1.5 кВт, з рідинним охолодженням дає змогу виконувати завдання без перерв, 24 години на добу. На верстаті можна виконувати такі операції, як розкрій листових матеріалів, вибірка, фрезерування пазів, гравірування, фрезерування 3d-рельєфів, свердління, лазерне гравіювання, фрезерування тіл обертання



Рисунок 2– "Сокіл 3040" від CNC MACHINES

Shenzhen Creality 3D Technology Co., Ltd. є лідером у виробництві споживчих 3D-принтерів на світовому ринку [12]. Найновіший апарат Creality CP-01 (рис.3) зі змінними головками призначений для 3D-друку, лазерного гравіювання та фрезерування. Кожен модуль має універсальний роз'єм і легко замінюється, а у разі втрати електроживлення у CP-01 є захист для продовження роботи, де зупинився.



Рисунок 3 – 3D-принтер Crealty CP-01

На сьогоднішній день можна зустріти настільні фрезерні верстати з наступними схемами компоновки:

Вертикальна компоновка (рис.4). У цій схемі верстат має вертикальну колонку, на якій розташований шпиндель зі свердлом або фрезою. Такі верстати обладнані рухомим хрестовим столом з Т-подібними пазами для установки і закріплення заготовки, лещат або іншого пристосування. Ця схема забезпечує компактність, стабільність і точність обробки. Вертикальні верстати добре підходять для свердління отворів або фрезерування на вертикальних поверхнях. Робоча зона може бути обмеженою, що робить його менш підходящим для обробки великих деталей.



Рисунок 4 – Фрезерний верстат JET JMD-X1L

Портальна компоновка (рис.5), де шпиндель рухається вздовж порталу (рами), що підтримує горизонтальний рух вздовж осей X та Y. Ця схема дозволяє забезпечити великий робочий простір і високу точність обробки великих деталей. Верстати такого типу можуть бути з рухомим порталом (рис.5) або з рухомим столом (рис.6).



Рисунок 5 – CNC Router of the High-Z T-Series

У верстаті з рухомим порталом робочий інструмент (наприклад, фреза або інший різальний інструмент) рухається вздовж горизонтальних напрямків на порталній конструкції, яка підтримує його рух. Портал має великі розміри і дозволяє обробляти великі деталі або великі робочі області.

У верстатах з рухомим столом робочий інструмент розташований на жорсткому порталі, а робочий стіл, на якому розташовані оброблювані деталі, рухається вздовж горизонтальних напрямків. Рухомий стіл дозволяє легко позиціонувати та обробляти деталі, а портал забезпечує стабільну підтримку робочого інструмента.



Рисунок 6 – SainSmart Genmitsu 3018-PROVer

Малогабаритні свердлильно-фрезерні верстати відзначаються мобільністю, оскільки їх легко переміщувати, роблячи їх ідеальними для невеликих майстерень або гаражів. Вони також вражають універсальністю, здатністю виконувати різноманітні види обробки, включаючи свердління, фрезерування, різання та інші операції, та при цьому вони компактні, що робить їх ідеальними для обмежених просторів.

Однак, небагато виробників розробляють настільні фрезерні верстати, в яких передбачена багатофункціональність, що полягає у можливості швидко і просто замінити мотор-шпиндель на друкуючу головку 3D-принтера або лазерну головку для різки листового матеріалу чи гравіювання.

**Проектування верстата.** Після ретельного аналізу значного обсягу даних, патентного дослідження подібних верстатів та детального вивчення їх конструкції [4,6,8], авторами сконструйований в різних варіантах виконання настільний верстат порталного компонування (рис.7).



а)



б)



в)

Рисунок 7 – Варіанти створеного верстата:

а) фрезерний верстат; б) лазерний верстат; в) фрезерний 4-х координатний верстат

Несуча рама виконана з верстатного алюмінієвого профілю типу V-slot. Це значно спрощує і здешевлює конструкцію, оскільки такі елементи є стандартними і при поломці будь-якого елемента рами, його можна легко замінити. Верстат містить два робочих столи. Верхній призначений для обробки листового матеріалу і малогабаритних деталей, нижній – для встановлення на ньому верстатного оснащення (ділильна головка, лещата) і обробки більш габаритних деталей. Це дозволяє при малому ході шпинделя вздовж осі Z оброблювати досить широкий спектр деталей.



При використанні нижнього столу слід демонтувати кілька центральних секцій верхнього столу, а оскільки стіл складається з кількох профілів V-slot 20x80, то демонтаж не викликає значних проблем.

В якості напрямних використано лінійні напрямні типу SBR, що володіють значно більшою жорсткістю, порівняно зі звичайними круглими напрямними.

Координатні переміщення здійснюються за рахунок кульково-гвинтових передач (КГП). Слід зауважити, що в даному типі обладнання використання передачі гвинт-гайка ковзання не є раціональним, оскільки при роботі верстата утворюється значна кількість стружки. А гайка ковзання не має ніякого захисту від зовнішнього бруду, на відміну від гайки КГП.

Опори для гвинтових пар виробляються фірмою TBI MOTION (Тайвань) з використанням радіально-упорних підшипників виробництва NSK. Якщо кріпити гвинт безпосередньо на кроковий двигун, то вал КГП може ходити вздовж осі, що не забезпечуватиме точність. Використовуючи підшипникові опори можна помітно знизити люфт всієї передачі. Передня опора складається з двох підшипників і затяжного гвинта, а задня опора з одного підшипника який може ковзати в корпусі.

Вага верстату після модернізації становить 30 кг. Робочий орган має збільшений діапазон переміщень по осях: X – 340 мм, Y – 330 мм, Z – 65 мм. Створений верстат має ряд значних переваг порівняно з попередніми моделями.

**Налагодження верстата.** Для створення керуючої програми використано програмне забезпечення від компанії Autodesk, а саме Inventor 2024 та PowerMill 2024. Спочатку за допомогою Inventor 2024 створюється 3д-модель деталі, яку необхідно потім завантажити у PowerMill 2024 для створення керуючої програми. Для прикладу виконана обробка шахової фігури – короля (рис.8).



Рисунок 8 – Деталь для обробки на розробленому верстаті

Програма PowerMill підтримує різні формати файлів 3Д-моделей. Найбільш поширеним є формат STEP. Модель деталі завантажується в програму для подальшого створення керуючої програми.

Обробка на верстаті з 4-ма осями буде відбуватись в декілька етапів. Спочатку виконується чорнова обробка однієї половини деталі (розділення відбувається вздовж четвертої поворотної осі), потім заготовка перевертається на 180° і оброблюється інша половина. Чистова обробка відбувається без розділення деталі.

Розглянемо детальніше кроки для створення керуючої програми. Після завантаження файлу моделі в PowerMill необхідно створити заготовку (рис.9) і локальну систему координат, в якій вісь X збігається з поворотною віссю A верстата, а вісь Z – з віссю Z верстата (рис.10).

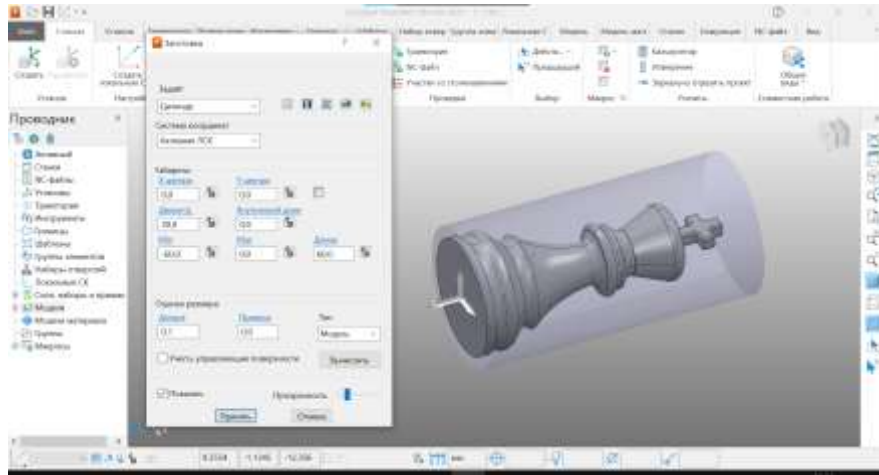


Рисунок 9 – Створення заготовки

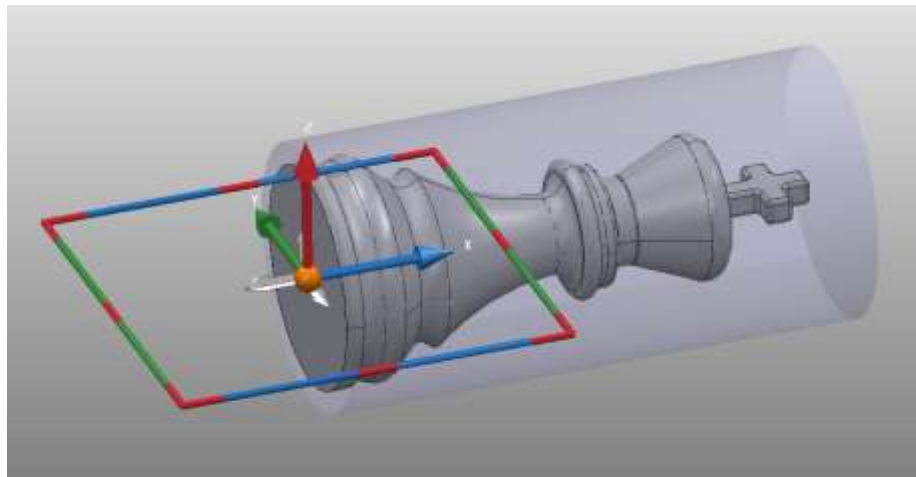


Рисунок 10 – Локальна система координат

Наступним кроком є створення траєкторії обробки. Для чорнової обробки застосована стратегія «вибірка 3D -моделі». За цього способу обробки відбувається фрезерування основного матеріалу і заготовка набуває наближеного вигляду до необхідного (рис.11).

Наступним етапом є налаштування обраної стратегії фрезерування. В цьому вікні налаштовується система координат в якій виконується обробка, стратегія підводу і відводу інструмента, обмеження при обробці, параметри інструменту, режими різання і багато іншого.

Після всіх налаштувань система генерує траєкторію, по якій буде переміщуватись робочий орган в процесі обробки деталі. PowerMill дає можливість виконати симуляцію виконання керуючої програми.

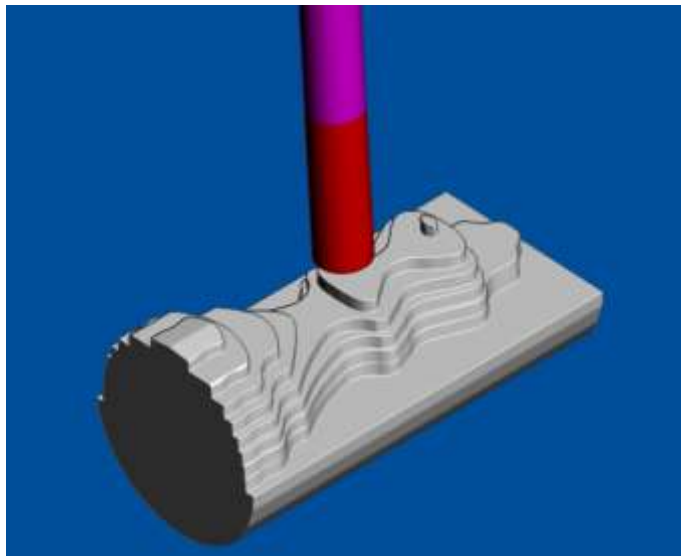


Рисунок 11 – Результат виконання першої частини чорнової обробки

Друга половина деталі оброблюється аналогічним чином. Для цього створюється копія раніше установлені локальної системи координат, і стратегія обробки. Систему координат повертають на  $180^\circ$  навколо осі X (рис.12), всі інші налаштування залишаю без змін.

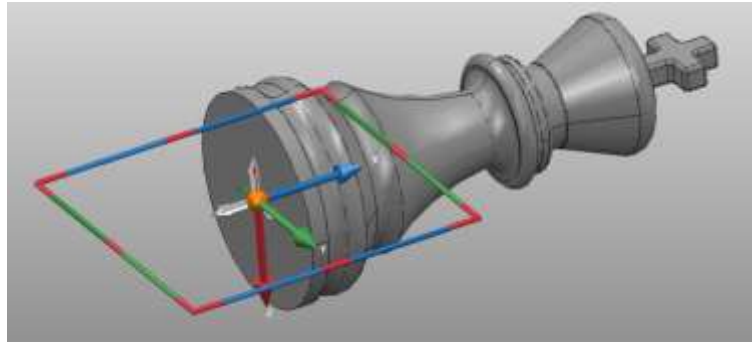


Рисунок 12 – Система координат для чорнового фрезерування другої половини деталі  
В результаті отримаємо деталь після чорнкової обробки з обох сторін (рис.13).

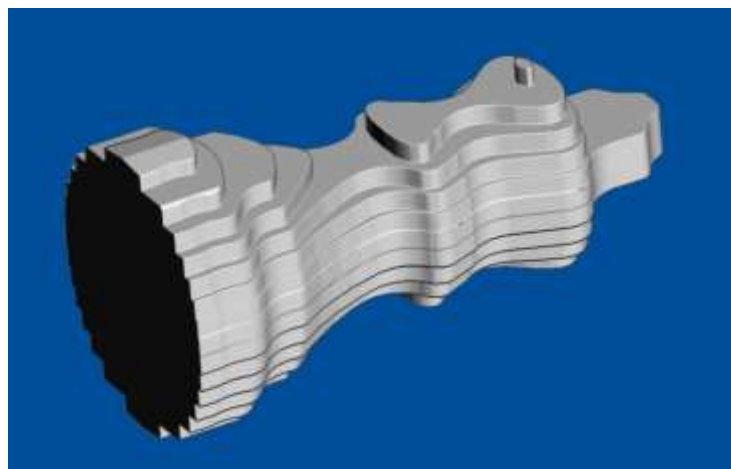


Рисунок 13 – Деталь після чорнового фрезерування

Створені керуючі програми для чорнкової і чистової обробки необхідно зберегти у NC-файл, в якому буде розміщений G-код.

Чистова обробка буде виконуватись за стратегією «4 осьова», при якій вісь A постійно обертається, а робочий орган рухається в площині YZ. Таким чином виконується обробка ніби по спіралі. Для цього методу обробки також налаштовуються параметри інструменту, режими різання і т.д.

Далі всі дії виконуються аналогічно до вищенаведеного прикладу створення керуючої програми для чорнкової обробки. В результаті маємо повністю готову керуючу програму для обробки деталі. Результат симуляції програми наведено на рисунку 14.

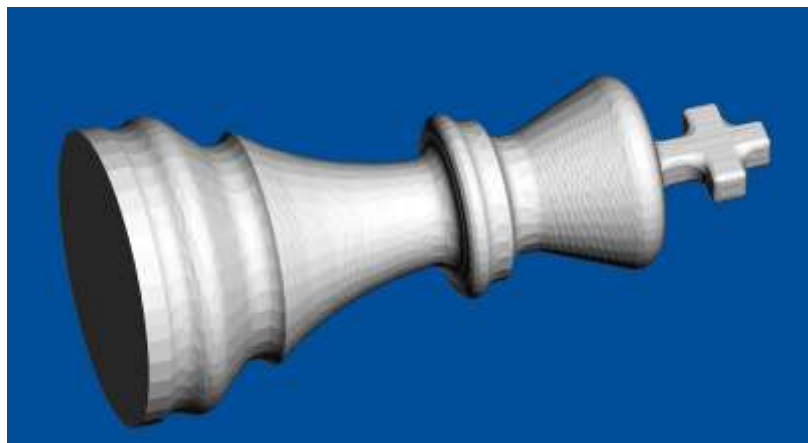


Рисунок 14 – Деталь після чистового фрезерування



**Висновки.** Розроблений універсальний настільний 4-х координатний верстат з розширеними функціональними можливостями має значний науково-технічний потенціал і практичну цінність для сучасного машинобудування. Його ефективно використовувати в навчальному процесі і у виробництві при виготовленні складних деталей невеликих розмірів.

Проведено вартісну оцінку виготовлення удосконаленого зразка верстата та розроблено рекомендації щодо подальшого вдосконалення. Проект є економічно вигідним і перспективним.

#### Інформаційні джерела

1. Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Кириченко А. М. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: В 3-х частинах. Кіровоград, 2003. ч.1. 422 с.
2. Валявський І. А., Лисенко О. В., Лисенко І. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: навч. посіб. для ЗВО. 2-ге вид., перероб. і доп. Кропивницький, 2023. 281 с.
3. Кузнецов Ю. М., Саленко О. Ф., Харченко О. О., Щетинін В. Т. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення. Вид-во «Точка». 2014. 500 с.
4. Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Гао Сінмін. Технологічне оснащення фрезерних верстатів: проектування, теорія, практика: Монографія-Луцьк: Вежа-Друк, 2023. 292 с. ISBN 978-966-940449-7.
5. Кузнецов Ю. М., Кривчук Ю. Т. Спрямований генетичний синтез настільних фрезерних верстатів //XIX-XX МНПК «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», 25-26.11.2020, м.Суми, СумДУ. с.103-106
6. Кузнецов Ю. М. Сучасний стан, перспективи розвитку і виробництва металорізальних верстатів в Україні / Вісті АІНУ №1 (44), 2011.
7. Кузнецов Ю. Н., Гайдаєнко Ю. В., Кривчук Ю. Т. Моделювання варіантів малогабаритного фрезерного верстата порталної компоновки (англ.). Міжнародна науково-технічна конференція UNITECH'19, г. Габрово (Болгарія), 2019, т.2. с.255-258.
8. Кузнецов Ю. М., Степаненко О. О. Настільні фрезерні верстати, керовані комп'ютером. Технологічні комплекси, Луцьк. 2010. № 1. С. 72–77.
9. Степаненко О. О., Манжола М. Ю., Кузнецов Ю. М. Дослідження впливу компонувань настільних фрезерних верстатів з ЧПК на якість обробки деталей. Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки», №2, Чернігів, 2015, с.78-83.
10. Степаненко О. О. Синтез малогабаритних фрезерних верстатів з комп'ютерним керуванням. Автореферат дис. канд. техн. наук. К.: 2014. 14 с.
11. Фрезерні верстати. <https://smartcnc.com.ua/shop/frezernyj-gravirovalnyj-standok-s-chpu-smart-light-4060> (дата звернення: 12.09.2024)
12. Creality. URL: <https://www.creality.com/> (дата звернення: 20.09.2024)
13. Tai Yu, Chunqiang Yuan, Yupeng Wang and Taorui Liu Influence of spatial position of double turntable swing on dynamic characteristics of five-axis machine tool ShiWu , Advances in Mechanical Engineering 2022, Vol. 14(11). p. 1-15

**Kuznetsov Yu., Kobets I.**

National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

#### FOUR-COORDINATE FLOORING LAYOUT OF PORTAL COMPOSITION

*The article highlights the relevance and formulates the problem of creating small-sized workbenches with computer hardware, inspecting the data generators and the design of such workbenches, and proposing options for a table-top workbench with a portal layout. The example of the preparation of a folding part shows the procedure for breaking up the ceramic program. The efficiency of creation machines in the initial process and during production has been primed.*

**Key words:** desktop milling bench, screw drive, coordinate movement drives, aggregate-modular principle, core program, modernization, module.