

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-01>

УДК 006.91

Алексієнко Гордій Володимирович, спеціаліст в галузі «Механічна інженерія» за напрямом підготовки «Обладнання переробних і харчових виробництв», інженер-технолог

<https://orcid.org/0000-0002-0757-757X>

Харківський державний університет харчування та торгівлі ТОВ НВФ «Вест Лабс ЛТД»

СКОРОЧЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КЕРОВАНОЇ РОЗТОЧУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Алексієнко Г. В. Скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи. У статті розкрито принципи скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи. Визначено етапи еволюції сучасної металообробної техніки. Охарактеризована будова розточувальної головки та визначено її місце у загальній металообробній системі на базі верстата з числовим програмним управлінням. Підкреслено, що на сьогодні, з розвитком автоматизації виробництва, більшою мірою використовують автоматичні розточувальні головки, які мають автоматичну радіальну подачу, що робить їх більш універсальними як при обробці отворів, так і при обробці зовнішніх поверхонь, такі головки мають великий діапазон обробки. Визначено характеристики автоматичної розточувальної головки та наголошено на перевагах застосування. Так використання автоматичних розточувальних головок дозволяє значно скоротити час обробки, збільшити точність і підвищити якість поверхні, що обробляється. Враховуючи, що розточувальні головки за своєю суттю, є приладдям яке знімається, спектр їх застосувань доволі широкий від координатно-розточувальних верстатів до агрегатних верстатів на базі обробних центрів. Представлено структурну схему управління верстатом з ЧПУ з відокремленням основних блоків, що входять до її складу та умовно розкрито схему реалізації керування обертами розточувальної головки. Наголошено, що впровадження мікропроцесорної системи управління позиціонуванням різця в розточувальній головці дозволить збільшити можливості формоутворення, а саме виконувати фасонні, циліндричні, ступінчасті та конусні отвори за один підхід, що дозволить скоротити час обробки, і найголовніше керувати точною одержуваною продукцією, а також скоротити номенклатуру використовуваного інструменту. Сформовано математично модель управління розточувальної головки та описано основні фактори впливу. Підкреслено, що технологічний процес характеризується силою різання та положенням розточувальної головки і може бути представлений у вигляді траєкторії руху її розточувальної кромки. Наголошено, що така система управління здійснює реалізацію процесу розточування отворів за рахунок формування траєкторії та порівняння її з еталонною траєкторією. Здійснення передачі даних блоком зворотного зв'язку запропоновано на технології Bluetooth, яка в умовах сьогодення є бюджетною та максимально дієвою у рамках заявлених вимог.

Ключові слова: розточувальна система, обробка отворів, верстат, числове програмне управління, система керування, трудомісткість, скорочення часу.

Aleksiienko Hordii. Reduction of labor intensity of manufacturing of openings of a difficult form with use of the controlled boring system. The article reveals the principles of reducing the complexity of manufacturing holes of complex shape using a controlled boring system. The stages of evolution of modern metalworking equipment are determined. The structure of the boring head is characterized and its place in the general metalworking system on the basis of the machine with numerical program control is defined. It is emphasized that today, with the development of production automation, more and more use automatic boring heads, which have automatic radial feed, which makes them more versatile in both machining holes and external surfaces, such heads have a wide range of processing. The characteristics of the automatic boring head are determined and the advantages of the application are emphasized. Thus, the use of automatic boring heads can significantly reduce processing time, increase accuracy and improve the quality of the surface to be treated. Given that boring heads are essentially removable accessories, the range of their applications is quite wide, from coordinate boring machines to aggregate machines based on machining centers. The structural scheme of control of the CNC machine with separation of the main blocks which are a part of it is presented and the scheme of realization of control of turns of a boring head is conditionally opened. It is emphasized that the introduction of a microprocessor control system for positioning the cutter in the boring head will increase the possibility of forming, namely to make shaped, cylindrical, stepped and conical holes in one approach, which will reduce processing time and most importantly control the accuracy of the product. The model of control of a boring head is mathematically formed and the main factors of influence are described. It is emphasized that the technological process is characterized by the cutting force and the position of the boring head and can be represented as the trajectory of its boring edge. It is emphasized that such a control system implements the process of boring holes by forming a trajectory and comparing it with the reference trajectory. The implementation of data transmission by the feedback unit is proposed on the basis of Bluetooth technology, which in today's conditions is budget-friendly and most effective within the stated requirements.

Key words: boring system, hole machining, machine, numerical program control, control system, complexity, time reduction.

Вступ та постановка завдання. Обробка отворів у процесі створення деталі складної форми є субтрактивним виробничим процесом, який широко використовується в багатьох видах промисловості, від металообробної промисловості до виготовлення медичних протезів, що

дозволяє отримувати дуже складні форми з високою точністю та дуже низькою шорсткістю поверхні.

Говорячи про еволюцію сучасної металообробної техніки, особливої уваги варто приділити традиційним верстатам, які є одними з головних металообробних одиниць. Так враховуючи розвиток електроніки та систем керування верстати оновили свій функціонал числовим контролем. Також, модернізації зазнали характеристики з точки зору ряду осей, які безпосередньо й одночасно керуються, передових систем захоплення, кількох робочих столів, більш високої швидкості обробки, покращеної точності, тощо.

Відносно програмного забезпечення варто зазначити значний інноваційний вплив на процеси механічної обробки. Виникнення 3D моделювання дало поштовх до можливості здійснювати розробку макету деталі, надаючи надійну допомогу щодо автоматизації процесу передачі 3D-моделі в програму, здатну виготовити деталь.

Фактично, еволюція 3D комп'ютерного проектування швидко посприяла становленню комп'ютерного виробництва з покращеною сумісністю між різними програмними забезпеченнями, що полегшує перетворення 3D-моделей на команди машинної мови, які здатні керувати різними сервомоторами, які, у свою чергу, відповідають за створення необхідних переміщень осі.

Проте, сучасний ринок постійно вимагає більшої гнучкості від обладнання, що задіяне у виробництві, налагодження безперебійного процесу взаємодії між обладнанням і здатністю працювати без людського втручання протягом тривалого часу, встановлюючи використання піддонів у машинах та розробляючи математичні моделі для адекватного керування робочим процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми та результати обробки отворів складної форми із застосуванням розточувальної системи розкрито на сторінках робіт багатьох як зарубіжних так і вітчизняних вчених.

А. Р. Триш [1] розробив комплекс наукових, інформаційних, технічних, програмних та організаційних засобів, для опрацювання науково-технічної інформації задля розроблення автоматизованої методики оцінювання взаємозамінності глибоких координованих отворів у машинобудуванні на етапі технологчної підготовки виробництва.

Робота [2] спрямована на підвищення продуктивності та якості обробки отворів на багатоцільових верстатах свердлильно-фрезерно-розточувальної групи. Авторами підкреслено проблеми машинобудівної сфери та сформовано напрямки на подальше їх усунення.

О. О. Ченчева [3] довела, що використання циклічної подачі певної частоти та змінної амплітуди значно підвищує різальні властивості свердла, забезпечує високу точність і низьку шорсткість поверхні, однак на відміну від існуючих технічних рішень з ударно-імпульсною подачею, не призводить до формування деструктивного шару значної товщини, знижує небезпеку виникнення розшарувань і поверхневих сколювань.

А. М. Щербак та І. С. Дмитрієва [4] розробили структурно-логічну схему проектування керуючої програми в умовах проектування системи управління верстата з ЧПУ в програмного середовищі.

Стосовно загальної експлуатації верстатів з числовим програмним управлінням варто відмітити роботу Т.І. Четвержука, Р.М. Полінкевича, Р.Г. Редько та Н.Т. Зубовецької [5], які провели аналіз сучасних пристроїв ЧПУ металорізальних верстатів, з визначенням основних діагностичних складових управління і контролю автоматизованими технологічними процесами. Ю. А. Петренко та В. М. Леміш [6] здійснили дослідження характеристик верстатів з ЧПУ та методів їхнього керування. Під час аналізу характеристик різноманітних верстатів з ЧПУ різних цінкових категорій та методів керування верстатами з ЧПУ авторами поставлено мету на розроблення комп'ютерної технології вибору методу керування верстатом з ЧПУ в умовах невизначеності з огляду на такі фактори, як швидкість обертів шпинделя, діаметр свердління та точність верстата.

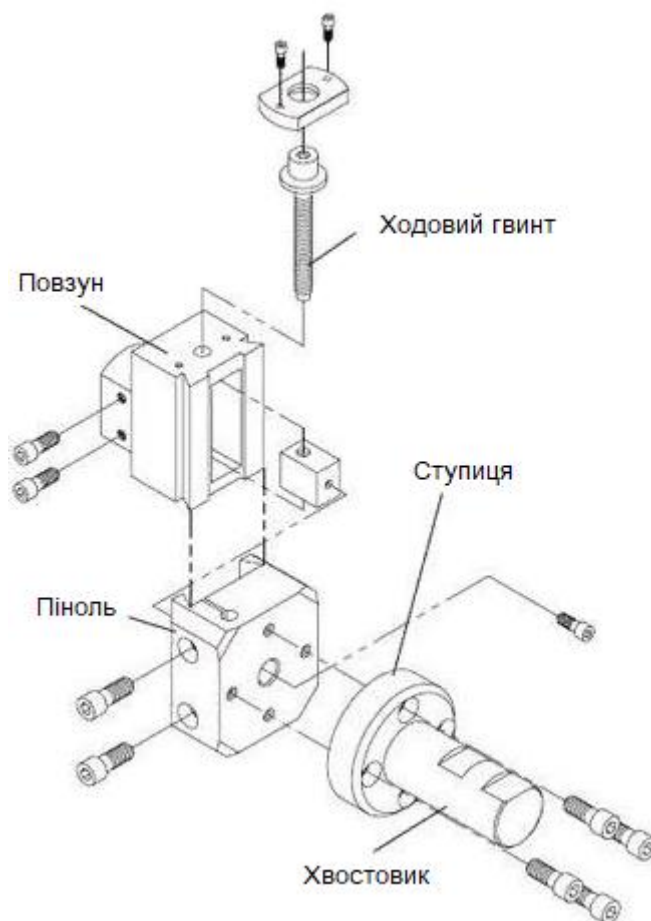
Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Abullah Ziyad [7], Žarnovský Jozef & Kovac I. & Mikuš Rastislav & Fries Jiří & Mošar' Matúš [8], Breaz Radu & Racz Sever-Gabriel & Bologa Octavian-Constantin [9], Ivanov Vitalii & Zajac Jozef [10], Ay Muzaffer & Stemmler Sebastian & Abel Dirk & Schwenzer Max & Klocke Fritz [11], Thasana Wiroj & TAKAHASHI Atsushi & YOSHIDA Arata & Sugimura Nobuhiro & TANIMIZU Yoshitaka & Iwamura Koji [12], Zamudio & A

Carlos [13], Shu Qi & Cheng Zhong & Liang Xiao [14], Svoboda Ondrej & Bach Pavel & Liotto Gianmarco & Wang Charles [15], Sun J. & Kong B. & Zhang X. & Wu F. [16] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи.

Викладення основного матеріалу дослідження. Виготовлення отворів складної форми здійснюється за допомогою розточувальної головки, яка використовується як альтернатива одноточковим розточувальним стержням. Діаметр розточувальної головки дорівнює кінцевому діаметру отвору, а пластини симетрично розподілені по колу головки, щоб забезпечити погашення сили в площині, перпендикулярній осі отвору. За допомогою більшої швидкості подачі можна розточувати весь отвір завдяки наявності декількох пластин на розточці. Монтаж розточувальної головки на верстат з ЧПУ здійснюється на шпиндельний вал, який передає момент обертання від приводу верстата (сервопривід). Щоб уникнути вильоту головки в процесі експлуатації, інструмент фіксується гвинтами або гайками. Будову розточувальної головки наведено на рисунку 1.



* за матеріалами [17]

Рисунок 1 – Будова розточувальної головки

На сьогодні, з розвитком автоматизації виробництва, більшою мірою використовують автоматичні розточувальні головки, які мають автоматичну радіальну подачу, що робить їх більш універсальними як при обробці отворів, так і при обробці зовнішніх поверхонь. Такі головки мають великий діапазон обробки.

Таблиця 1 – Характеристики автоматичної розточувальної головки

Діапазон дії розточувальної головки, мм	Діаметр різців, мм	Хід блоку ковзання по поверхні, мм	Точність калібрування, мм	Максимальна ручна подача за один обхід, мм	Максимальна автоматична подача за один обхід, мм
1	2	3	4	5	6
Від 5 до 250	18	Порядку 15	0,005	3	Від 0,02 до 0,06, з кроком 0,02

В умовах сучасного виробництва використання автоматичних розточувальних головок дозволяє значно скоротити час обробки, збільшити точність і підвищити якість поверхні, що обробляється. Враховуючи, що розточувальні головки за своєю суттю є приладдям яке знімається, спектр їх застосувань доволі широкий від координатно-розточувальних верстатів до агрегатних верстатів на базі обробних центрів.

Доцільність і якість розточування багато в чому залежать від необхідного крутного моменту, потужності шпинделя, конструктивної жорсткості верстата і заготовки, а також подачі. Ефективність процесу також сильно залежить від величини неузгодженості між поздовжнім отвором та осями розточувальної головки. Управління положенням та подачею ріжучого інструменту під час обертання головки здійснюється сервоприводом. Також сучасні розточувальні головки оснащені датчиком зворотного зв'язку, що у динаміці дозволяє відстежувати становище інструменту, тобто повністю керується системою ЧПУ. Структурна схема управління верстатом з ЧПУ наведена на рисунку 2.

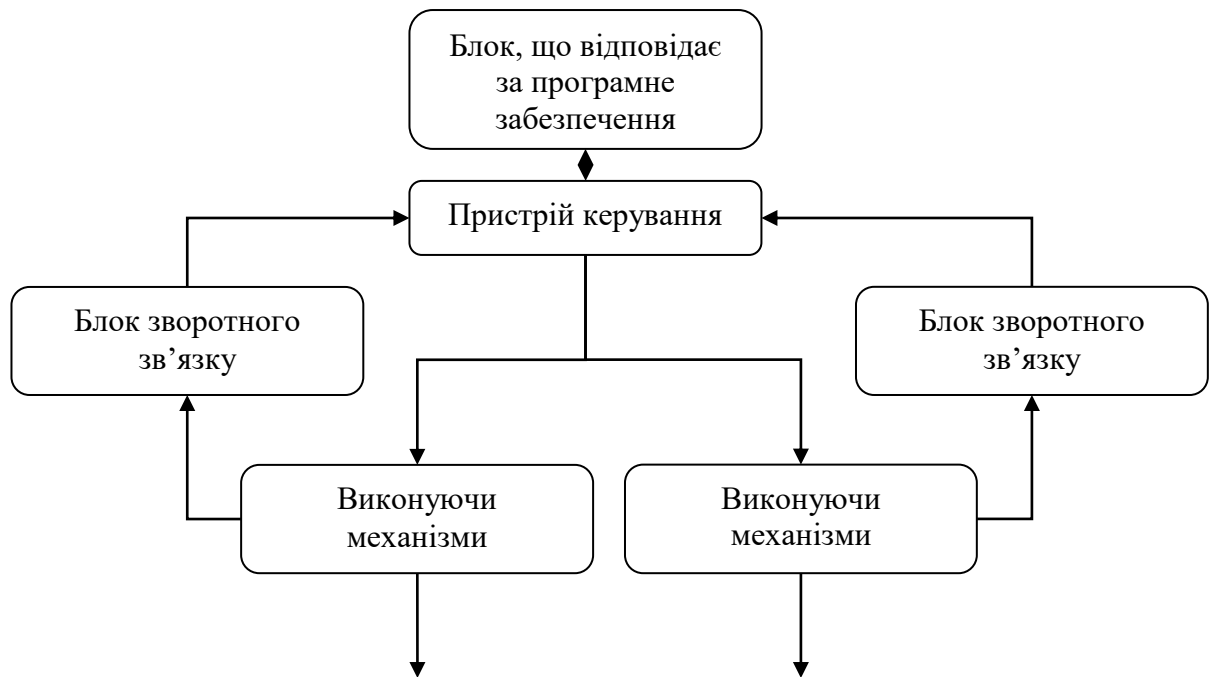


Рисунок 2 – Структурна схема управління верстатом з ЧПУ

Виконуючі механізми у своєму складі мають, наприклад, розточувальну головку, шпиндель, стіл, каретку, тощо. Структурна схема реалізації дії виконуючого механізму наведена на рисунку 3.

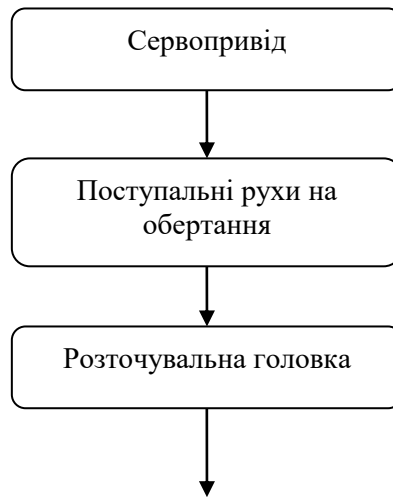


Рисунок 3 – Структурна схема реалізації керування обертами розточувальної головки

Впровадження мікропроцесорної системи управління позиціонуванням різця в розточувальній головці дозволить збільшити можливості формоутворення, а саме виконувати фасонні, циліндричні, ступінчасті та конусні отвори за один підхід, що дозволить скоротити час обробки, і найголовніше керувати точністю одержуваної продукції, а також скоротити номенклатуру використовуваного інструменту. На рисунку 4 сформовано структурну схему управління розточувальної головки, яка розділена умовно на управління першого та другого рівня.

Математична модель управління розточувальної головки до свого складу включає параметри процесу розточування та похибку, яка виникає у процесі розточування.

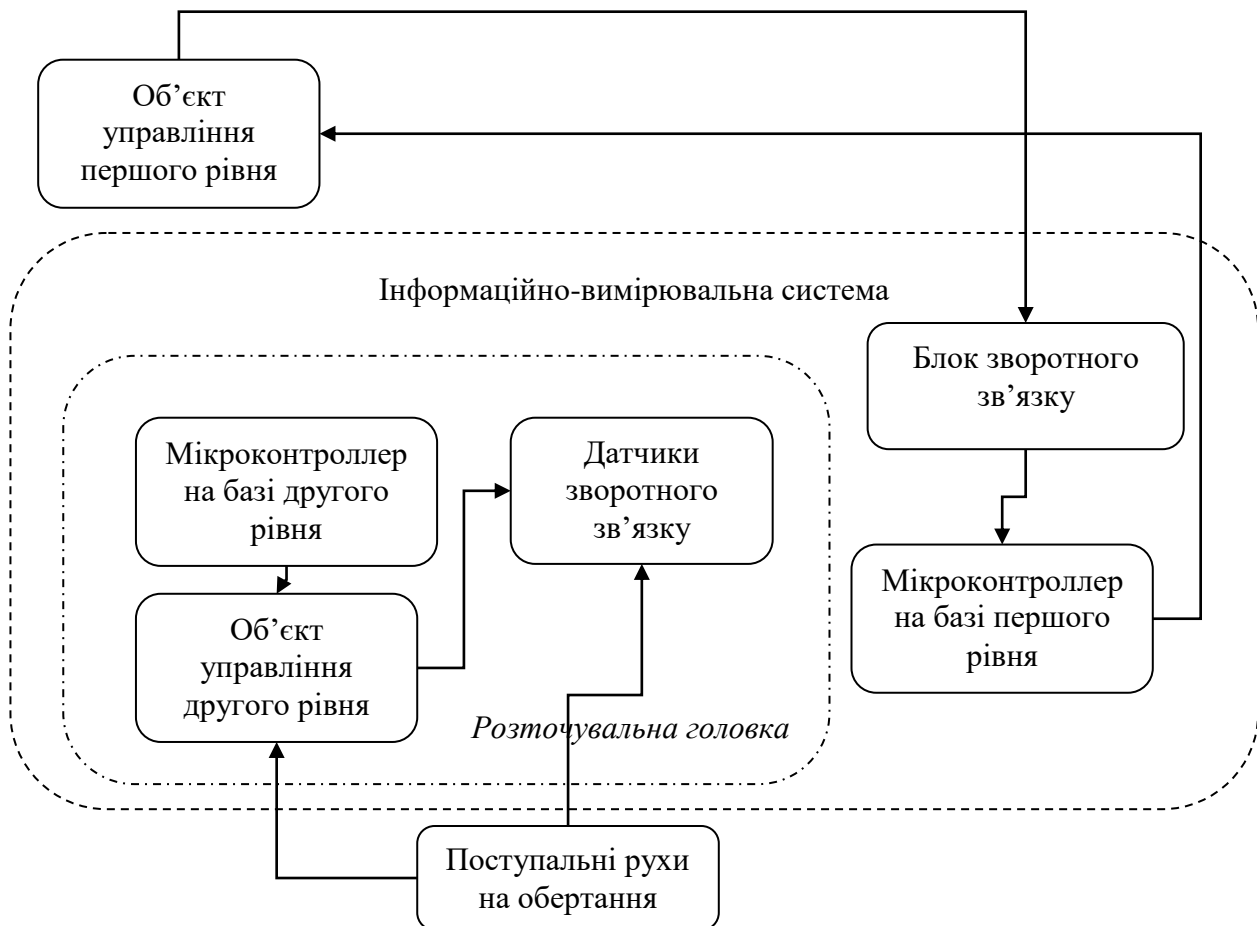


Рисунок 4 – Структурна схема управління розточувальної головки

На похибку особливий вплив має результат пружних відтискань елементів технологічної системи; недоліки або неточності в установці інструменту; знос ріжучого інструменту; температурна деформація технологічної системи; геометричні неточності верстату; неточність системи програмного управління (збої, віруси, помилки налаштування); деформація технологічної системи від затискних сил; можливий технологічний допуск на розмір деталі, що оброблюється.

Загальна сукупність описаних факторів впливу дає значну вірогідність формування неякісного технологічного процесу та виходу з ладу обладнання, саме тому, для досягнення відповідної якості необхідно використовувати технологію зворотного зв'язку у режимі реального часу. Як результат даного впровадження, об'єктом управління є процес розточування разом із модулем руху розточувальної головки.

Технологічний процес характеризується силою різання та положенням розточувальної головки і може бути представлений у вигляді траєкторії руху її розточувальної кромки. На основі вищевикладеного, варто наголосити, що така система управління здійснює реалізацію процесу розточування отворів за рахунок формування траєкторії та порівняння її з еталонною траєкторією. Також, застосування системи управління розточувальної головки дає змогу підвищити швидкість руху, чим скоротить загальний час обробки деталі, що, у свою чергу економічно вигідно для підприємства. Окреслена модель сформована на базі двох взаємодіючих рівнів: перший рівень управління, здійснює безперервне управління технологічним процесом, а другий рівень управління, здійснює контроль процесу і вибір необхідних параметрів регулюючого впливу на об'єкт управління на базі функції відхилення поточного уявлення якості про процес у порівнянні з еталонною моделлю, що задана технологічною картою на виготовлення.

Здійснення передачі даних блоком зворотного зв'язку засновано на технології Bluetooth, яка в умовах сьогодення є бюджетною та максимально дієвою у рамках заявлених вимог. Bluetooth є стандартом зв'язку, що найбільш часто використовується, має масштабний вибір систем підтримки, достатню швидкість передачі інформації, достатню перешкодостійкість на близьких відстанях.

Висновки. У роботі розкрито принципи скорочення трудомісткості виготовлення обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи. Запропоновано впровадження автоматизованого управління за технологічним процесом, та контроль процесу і вибір необхідних параметрів регулюючого впливу на об'єкт управління, яким виступає розточувальна головка, на базі функції відхилення поточного уявлення якості про процес у порівнянні з еталонною моделлю, що задана технологічною картою на виготовлення. Окреслена модель дасть змогу підвищити швидкість руху, чим скоротить загальний час обробки деталі, що, у свою чергу, економічно вигідно для підприємства. Формування комунікації розточувальної головки з блоком управління запропоновано із застосуванням технології Bluetooth враховуючи її сильні сторони та інноваційність останніх наробок.

Перспективами подальших досліджень є розробка стратегії скорочення часу обробки на фрезерних верстатах з ЧПУ при використанні високих та надвисоких подач з поступовим впровадженням на металообробному підприємстві.

Список бібліографічного опису.

1. Трищ А.Р. Оцінювання взаємозамінності глибоких координованих отворів у машинобудуванні з застосуванням інформаційних систем. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» (15 – Автоматизація та приладобудування). – Українська інженерно-педагогічна академія МОН України, м. Харків, 2021. 147 с.
2. Коваленко Я.П., Мельничук П.П. Підвищення ефективності обробки отворів на багатоцільових верстатах / Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти», 6–9 листопада 2019 року. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. С. 125-126.
3. Ченчева О.О. Удосконалення мотор-шпинделя для ефективного свердлування вуглепластиків трубчастими алмазними свердлами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2019. 226 с.
4. Проектування системи управління верстату з ЧПУ в середовищі MASTERCAM / А. М. Щербак, І. С. Дмитрієва // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2019): матеріали V

- Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 6-8 листопада 2019 року) / Міністерство освіти і науки України, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет». – Дніпро: Баланс-клуб, 2019. С. 102-103.
5. Четвержук Т.І. Режими роботи системи ЧПУ верстата в процесі його експлуатації// Четвержук, Р.М. Полінкевич, Р.Г. Редько, Н.Т. Зубовецька // Наукові нотатки: міжвуз. зб.наук. праць. – Луцьк, 2019. Вип. 66. С. 373-378.
 6. Петренко Ю. А., Леміш В. М. Вибір методу керування верстатом з ЧПУ в умовах невизначеності / Харківський національний автомобільно-дорожній університет: Вісник ХНАДУ, 2021. т. 1 вип. 92. С. 97-102.
 7. Різець // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. С. 171.

References.

1. Abullah, Ziyad. (2020). Sustainability Modeling of Conventional Milling Machine Remanufactured CNC Machine Tool Upgraded. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 39. 197-224. 10.9734/CJAST/2020/v39i2530897.
2. Žarnovský, Jozef & Kovac, I. & Mikuš, Rastislav & Fries, Jiří & Mošat', Matúš. (2019). Vibration Diagnostics of CNC Machining Center Spindle. *Manufacturing Technology*. 19. 350-356. 10.21062/ujep/295.2019/a/1213-2489/MT/19/2/350.
3. Breaz, Radu & Racz, Sever-Gabriel & Bologa, Octavian-Constantin. (2017). 5-axes modular CNC machining center. *MATEC Web of Conferences*. 112. 06004. 10.1051/mateconf/201711206004.
4. Ivanov, Vitalii & Zajac, Jozef. (2018). Flexible Fixtures for CNC Machining Centers in Multiproduct Manufacturing. *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*. 4. 153552. 10.4108/eai.10-1-2018.153552.
5. Ay, Muzaffer & Stemmler, Sebastian & Abel, Dirk & Schwenzer, Max & Klocke, Fritz. (2018). System Identification of a CNC Machining Center with Support Vector Machines. 1-9. 10.1109/MED.2018.8442437.
6. Thasana, Wiroj & TAKAHASHI, Atsushi & YOSHIDA, Arata & Sugimura, Nobuhiro & TANIMIZU, Yoshitaka & Iwamura, Koji. (2013). A030 A Simulation of Kinematic Deviations of Boring Processes on CNC Machining Centers. *Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st century : LEM21*. 2013.7. 141-146. 10.1299/jsmelem.2013.7.141.
7. Zamudio, & A, Carlos. (2022). Theoretical and practical background for the characterization of CNC machining centers /https://www.researchgate.net/publication/35317195_Theoretical_and_practical_background_for_the_characterization_of_CNC_machining_centers
8. Shu, Qi & Cheng, Zhong & Liang, Xiao. (2014). The Origin Alignment Method of Box Parts Based on Boring and Milling Machining Center. *Applied Mechanics and Materials*. 644-650. 4980-4984. 10.4028/www.scientific.net/AMM.644-650.4980.
9. Svoboda, Ondrej & Bach, Pavel & Liotto, Gianmarco & Wang, Charles. (2022). Volumetric positioning accuracy of CNC machining centers definitions and measurements.
10. Sun, J. & Kong, B. & Zhang, X. & Wu, F.. (2017). Experimental Study on Thermal Error Measurement of Spindle System of Boring and Milling Machining Center. *Shenyang Jianzhu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*. 33. 1107-1115. 10.11717/j.issn:2095-1922.2017.06.18.