

DOI 10.32820/2079-1747-2020-25-99-106

УДК 621.914

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ КООРДИНОВАНИХ ОТВОРІВ
В СИСТЕМАХ БЕЗ НАПРЯМКУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ**

©Бурдейна В.М., Артюх С.М.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Бурдейна Вікторія Михайлівна: ORCID: 0000-0002-0026-1900; zamorskavika@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Артюх Світлана Миколаївна: ORCID: 0000-0003-0804-6313; artyhsn@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті досліджена одна з актуальних завдань машинобудування - подальший розвиток, вдосконалення та розробка нових технологічних методів обробки заготовок деталей машин, застосування нових конструкційних матеріалів і підвищення якості обробки деталей машин. Можна зробити висновок, що труднощі обробки отворів зростають із збільшенням їх глибини. Тут, на перший план виходять правильний підбір ріжучого інструменту, обладнання, режимів різання, використання мастильно - охолоджувальної рідини. Досліджено, що актуальність полягає в тому, що у міру всебічного розвитку машинобудування, організації нових галузей з виробництва машин та устаткування різного технологічного призначення номенклатура деталей з глибокими отворами швидко розширюється. Більшість деталей машин виготовляється шляхом обробки різанням. Заготовками таких деталей служать прокат, вилки, поковки, штампування та ін. Процес обробки деталей різанням заснований на утворенні нових поверхонь шляхом деформування і подальшого відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Після зняття припуску на металорізальних верстатах оброблювана деталь набуває форму і розміри, відповідні робочим кресленням деталі. Виявлено, що для зменшення трудомісткості і собівартості виготовлення деталі, а також заради економії металу, розмір припуску повинен бути мінімальним, але в той же час достатнім для отримання хорошої якості деталі і з необхідною шорсткістю поверхні. Широке застосування в промисловості отримали різні механічні методи розділення металів, в першу чергу різка ножівковими полотнами, стрічковими пилками, фрезами та ін. Механічна обробка поверхонь заготовок є однією з основних завершальних стадій виготовлення деталей машин. В результаті виконаних експериментальних досліджень виведені емпіричні залежності для розрахунку практичних полів розсіювання координованих розмірів при обробці без направлення ріжучого інструменту.

Ключові слова: різання, емпіричні залежності, ріжучий інструмент, координований отвір, відхилення.

Бурдейная В.М, Артюх С.Н. «Обеспечение точности обработки координированных отверстий в системах без направления режущего инструмента».

В статье исследована одна из актуальных задач машиностроения - дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин, применение новых конструкционных материалов и повышения качества обработки деталей машин. Можно сделать вывод, что трудности обработки отверстий растут с

увеличением их глубины. Здесь, на первый план выходят правильный подбор режущего инструмента, оборудования, режимов резания, использование смазочно - охлаждающей жидкости. Доказано, что актуальность заключается в том, что по мере всестороннего развития машиностроения, организации новых отраслей по производству машин и оборудования различного технологического назначения номенклатура деталей с глубокими отверстиями быстро расширяется. Большинство деталей машин изготавливается путем обработки резанием. Заготовками таких деталей служат прокат отливки, поковки, штамповки и др. Процесс обработки деталей резанием основан на образовании новых поверхностей путем деформирования и последующего отделения поверхностных слоев материала с образованием стружки. После снятия припуска на металлорежущих станках обрабатываемая деталь приобретает форму и размеры, соответствующие рабочим чертежам детали. Выявлено, что для уменьшения трудоемкости и себестоимости изготовления детали, а также ради экономии металла, размер припуска должен быть минимальным, но в то же время достаточным для получения хорошего качества детали и с необходимой шероховатостью поверхности. Широкое применение в промышленности получили различные механические методы разделения металлов, в первую очередь резкое ножовочными полотнами, ленточными пилами, фрезами и др. Механическая обработка поверхностей заготовок является одной из основных завершающих стадий изготовления деталей машин. В результате выполненных экспериментальных исследований выведены эмпирические зависимости для расчета практических полей рассеивания координированных размеров при обработке с направлением режущего инструмента.

Ключевые слова: резание, эмпирические зависимости, режущий инструмент, координированное отверстие, отклонения.

Burdeina V. Artyukh S. «Ensuring the accuracy of machining coordinated holes in systems without the direction of the cutting tool».

The article investigates one of the current tasks of mechanical engineering, which is further development and improvement of new technological methods of processing workpieces of machine parts, usage of new structural materials and improvement of the quality of processing of machine parts. It can be concluded that the difficulties of processing holes increase along with the increase in their depth. Here, the correct selection of the cutting tool, equipment, cutting modes, use of lubricating and cooling liquid come to the fore. It was substantiated that the relevance lies in the fact that with the comprehensive development of mechanical engineering, the organization of new industries for the production of machinery and equipment for various technological purposes, the range of parts with deep holes is expanding rapidly. Most machine parts are made by cutting. Rolled castings, forgings, stamping, etc. serve as workpieces for such parts. The process of processing parts by cutting is based on the formation of new surfaces by deformation and subsequent separation of the surface layers of the material with the formation of chips. After removing the allowance on metal-cutting machines, the workpiece acquires the shape and dimensions corresponding to the technical drawing of the part. It was found that to reduce the complexity and cost of manufacturing parts, as well as to save metal, the size of the allowance should be minimal, but at the same time sufficient to obtain good quality parts and with the required surface roughness. Various mechanical methods of metal separation have been widely used in the industry, first of all cutting with hacksaw blades, band saws, cutters, etc. Machining of workpiece surfaces is one of the main final stages of machine parts manufacturing. As a result of the performed experimental research, empirical dependences for

calculation of practical fields of scattering of the coordinated sizes at processing without the direction of the cutting tool were deduced.

Keywords: cutting, empirical dependencies, cutting tool, coordinated hole, deviation.

Вступ.

Виробничі дослідження точності обробки деталей на агрегатних верстатах з пінольними силовими головками показали [1], що точність координованих розмірів між оброблюваними отворами з урахуванням позиційного відхилення їх осей забезпечується з великими труднощами. З іншого боку, встановлено, що, як правило, точність обробки деталей, що забезпечується спеціальним оснащенням, а саме, багатошпindelних насадками, кондукторами, пристосуваннями, не пов'язана з точнісних параметрів.

У цьому зв'язку наголошується, що незважаючи на великий досвід, накопичений у результаті досліджень технологічних процесів автоматизованого виробництва, питання технологічного забезпечення якості їх роботи вивчені недостатньо.

Відсутня також у проектувальників нормативно-технологічна документація, що встановлює взаємозв'язок між точнісних характеристиками оброблюваних на верстатах деталей і точнісних параметрів елементів оснащення верстатів, які забезпечують ці характеристики.

Все це знижує ефективність обробки груп отворів з заданими координованими розмірами на автоматизованому обладнанні, в тому числі на агрегатних верстатах. З підвищенням вимог до точності розташування координат і позиційних відхилень осей груп оброблюваних отворів у деталях виникає необхідність вже на стадії проектування агрегатних верстатів обґрунтовано застосовувати різні конструкції багатошпindelних насадок, кондукторів, пристосувань з певними точнісних параметрів[1,2].

Інтенсивний розвиток техніки і технології в кінці ХХ століття, швидка зміна номенклатури виробів, поява верстатів з ЧПУ і ГАП, створення нових конструкційних та інструментальних матеріалів призводить до необхідності вдосконалення конструкцій металорізальних інструментів.

Висока продуктивність, гнучкість, швидкозмінною, сталість геометричних параметрів - якості відповідають вимогам сучасного виробництва - ведуть до заміни складеного інструменту збірним.

Розрахунок інструменту з усіма зазначеними параметрами і підбір оптимальних параметрів є складною, трудомісткою завданням, які надзвичайно важко робити вручну.

Тому все більшого поширення набувають системи автоматизованого проектування різального інструменту.

Метою роботи є комплексне дослідження впливу різних елементів технологічної оснастки агрегатних верстатів (багатошпindelних насадок, кондукторів і пристосувань) на забезпечення регламентованої точності обробки координованих отворів з урахуванням позиційного відхилення їх осей при обробці з направленням різучого інструменту та можливість впровадження новітніх технологій під час оцінки якості отворів.

Постановка завдання: Дослідженнями, виконаними раніше [1], було встановлено, що точність координованих розмірів (міжосьових розмірів від бази) з урахуванням позиційних відхилень осей отворів забезпечується не завжди. Більшою мірою це відноситься до отворів,

у яких $l/d > 5$ (l і d - відповідно довжина і діаметр отвору). І, не дивлячись на значний досвід, накопичений в результаті досліджень технологічних процесів автоматизованого виробництва, питання технологічного забезпечення якості їх роботи вивчені ще не недостатньо. Відсутня у конструкторів нормативно-технічна документація, що встановлює взаємозв'язок між точносними характеристиками оброблюваних деталей і точносними параметрами елементів оснащення верстатів, які забезпечують ці характеристики.

Актуальність дослідження. З підвищенням вимог до точності координат і позиційних відхилень осей отворів в оброблюваних деталях виникає необхідність вже на стадії проектування обладнання обґрунтовано застосовувати різні конструкції технологічного оснащення з певними економічно доцільними точносними параметрами. Особливу значущість проблема науково обґрунтованої регламентації точностних параметрів елементів технологічного оснащення набуває при створенні переналагоджуваної (гнучкого) обладнання оскільки, в основному, в точностних параметрах технологічного оснащення трансформуються похибки всієї технологічної системи СПД (станок, пристосування, інструмент, деталь).

Висловлені положення підтверджують необхідність і актуальність досліджень факторів, що визначають точність обробки заготовок на багатоопераційних верстатах з використанням різних технологічних схем[3].

Експериментальне дослідження точності отворів координованих розмірів. Оскільки питання обґрунтованого призначення елементів технологічного оснащення для надійного забезпечення точності обробки координованих отворів до сих пір не вирішені, було проведено комплекс експериментальних і теоретичних досліджень на основі повного факторного експерименту (ПФЕ 2³).

Для випадку свердління отворів діаметром ($\varnothing 1-3$) мм в суцільному матеріалі при побудові розміру від бази точність обробки оцінювалася практичними полями розсіювання від бази (ω_B) і позиційного відхилення (ω_O). У загальному вигляді була прийнята наступна функціональна залежність для визначення практичних полів розсіювання розміру від бази (ω_B) або позиційного відхилення (ω_O) [1-3]:

$$\omega_{B;O} = f(d_{II}, HB, l_{II}), \quad (1)$$

де d_{II} - діаметр оброблюваного отвору, мм; HB - твердість оброблюваного матеріалу, МПа; l_{II} - виліт інструменту за торець шпинделя, мм.

Оброблялися заготовки зі сталі 45, сірого чавуну СЧ15 і алюмінієвого сплаву АКЧ свердлами діаметрами $\varnothing 1$ мм, $\varnothing 2$ мм, $\varnothing 3$ мм короткої та середньої серії довжин. У кожній точці плану експерименту обсяг випробувань був прийнятий рівним $N = 50$ шт. Для достовірності та адекватності отриманих математичних залежностей була проведена додаткова серія дослідів ($n_0 = 3$) в нульовій точці плану експерименту (заготівля з сірого чавуну СЧ15) [4-5].

Математична обробка результатів експериментальних досліджень на першому етапі зводилася до визначення статистичних характеристики розподілів:

\bar{X} – середнє арифметичне відхилення досліджуваної величини; σ - середнє квадратичних відхилень; W – розмах; λ – коефіцієнт відносного розсіювання випадкової величини; α - коефіцієнт відносної асиметрії.

Оцінка згоди експериментальних даних з теоретичними по кожному з 11 дослідів проводилася шляхом обчислення критеріїв Колмогорова і Пірсона. Встановлено, що розсіювання розмірів від бази підпорядковується нормальному закону, а позиційного відхилення - законам ексцентриситету або модуля різниці [6,9,10].

Перевірка гіпотези однорідності дисперсій практичних полів розсіювання в кожній точці плану експерименту проводилася за критерієм Кохрена.

Система без направлення ріжучого інструменту. В якості незалежних змінних X_i ($i = 1, 2, 3$) прийняті логарифми d_{II} , HB і l_{II} . Кодування факторів, наприклад по діаметру, здійснено в наступній послідовності [7]: нульовий рівень варіювання дорівнює $X_{1,0} = \lg 2,0 = 0,301$, а інтервал розраховувався за формулами:

$$\Delta X_{1;0} = \frac{\lg 3,0 - 1,0}{2} = 0,2386, \quad (2)$$

Таким чином, кодоване значення діаметра ріжучого інструменту обчислюємо за формулою:

$$Z_1 = \frac{(\lg d_{II} - 0,301)}{0,2386}, \quad (3)$$

Аналогічно визначаємо значення i , які зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 - Кодоване значення факторів під час свердління отворів силовою головкою без направлення ріжучого інструменту

Найменування факторів	Код	Кодоване значення факторів
Діаметр інструменту	Z_1	$(\lg d_{II} - 0,301)/0,2386$
Твердість матеріалу, що обробляється	Z_2	$(\lg HB - 3,0934)/0,2726$
Виліт інструменту	Z_3	$(\lg l_{II} - 1,3617)/0,1365$

Гіпотезу про адекватність представлення результатів дослідження точності обробки можна вважати правильною, так як перевірки як за критерієм Фішера (F), так і за критерієм Стюдента (t) показали, що розрахункові значення цих критеріїв менше табличних [8, 11].

В результаті подальшої математичної обробки отримані залежності для розрахунку практичних полів розсіювання:

$$\omega_o = 0,863 \frac{\ln^{1,058} \cdot HB^{0,72}}{d_{II}^{0,91} \cdot \lg HB - 2,6308} \quad (4)$$

- для позиційних відхилень осі отвору

$$\omega_B = 19,6 \frac{HB^{0,36} \cdot \ln^{0,46}}{d_{II}^{0,45} \cdot \lg HB - 1,289} \quad (5)$$

Отримані залежності можна використовувати при наступних межах досліджуваних факторів: $HV = (500-2500)$ МПА при $d_i = (0,8- 3,5)$ мм і l_i - в межах від 8 мм до 40 мм.

Збільшення вильоту інструменту за торець шпинделя, а також підвищення твердості матеріалу заготовки збільшують поля розсіювання ω_v і ω_o . На рис.1 представлені реалізація отриманих рівнянь.

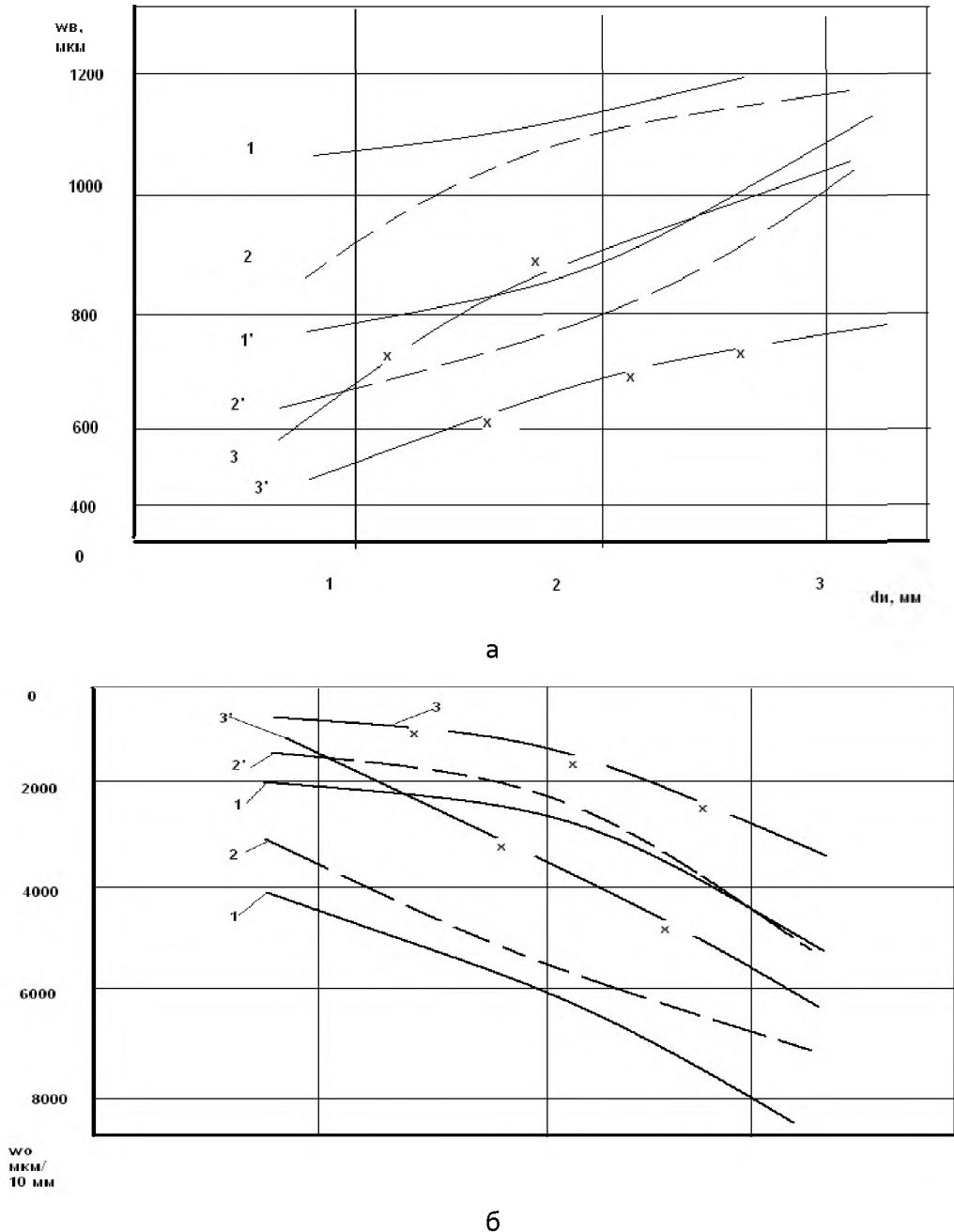


Рис. 1 – 1,2,3 - обробка свердлами середньої серії довжин,
1', 2', 3' - обробка свердлами короткої серії довжин,
1 і 1' - сталь 45; 2 і 2' - СЧ15,3 і 3' - АКЧ.

У табл. 2 представлено питома вага факторів на ω_v і ω_o при обробці заготовок без на-
правлення ріжучого інструменту.

Таблиця 2 - Питома вага факторів

Фактори	Питома вага фактору, в %	
	ω_B	ω_o
d_{II}	13,5	11,0
HВ	34,5	33,0
l_{II}	35,0	39,0
Спільний вплив d_{II} и HВ	17,0	17,0

З таблиці видно, що найбільший вплив робить виліт ріжучого інструменту l_{II} (35-39)%. Питомий вплив діаметра інструмента позначається в меншій мірі і становить від 11% до 13%. Механічні властивості оброблюваного матеріалу деталі багатодітній родині і істотний вплив (33-34,5%). Спільне вплив діаметра і твердості матеріалу - фактор, що визначає навантаження на інструмент, впливає менш істотно (17%).

Висновок

Теоретичними дослідженнями встановлено, що точність координування розмірів і позиційних відхилень залежить від сумарної геометричної точності елементів технологічної системи верстата і сумарних пружних деформацій. Дослідженнями встановлено, що розсіювання координованих розмірів підпорядковується нормальному закону розподілу, а позиційних відхилень - закону ексцентриситету або модуля різниці. Результати розрахунку впливу питомої ваги похибок на сумарну геометричну точність показує, що для систем без направлення ріжучого інструменту найбільш істотний вплив роблять похибки пристосувань - до 55%, а для систем з напрямком інструменту - похибки рухомий кондукторної плити і пристосування (сумарно близько 79%).

Список використаних джерел

1. Бурдейная В. М. Точность координированных размеров при обработке отверстий без направления режущего инструмента / В. М. Бурдейная, Э. А. Пашенко // *Машинобудування* : зб. наук. пр. – Харків : УІПА, 2013. – № 12. – С. 125–129.
2. Carlos G. Analysis and Design of Marine Structures / G. Carlos, O. Soares. – New York : CRC Press, 2009. – 321 p.
3. Oberg E. Gage design and gage making / E. Oberg. – New York, 1920. – 305 p.
4. Ettinger W. J. Basis for Determining Manufacturing Tolerances / W. J. Ettinger, W. Bartky // *The Machinist*. – 1936. – Vol. 80. – Pp. 23–28.
5. Гугнін В. П. Метрологічне забезпечення та повірка засобів вимірювальної техніки фізичних величин / В. П. Гугнін, Г. О. Оборський. – Київ : Наука і техніка, 2011. – 220 с.
6. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя Т. 2. / В. И. Анурьев; под ред. И. Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001. – 912 с.
7. Фридендер И. Г. Расчеты точности машин при проектировании. / И. Г. Фридендер. – Киев ; Донецк: Высшая школа, 1980. – 184 с.
8. Базров Б. М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. / Б. М. Базров – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
9. Портман В. Т. Универсальный метод расчета точности механических устройств / В. Т. Портман // *Вестник машиностроения*. – 1981. – № 7. – С. 12–17.
10. Krause – Leipoldt R. Für Sonderwerk – zeug – maschinen / R. Krause – Leipoldt // *Standartisierte Baueinheiten Maschinenmarkt*. – 1980. – Bd. 86, № 68. – S. 1300-1302.
11. Worthifigton B. A. Comprehensive literature survey of chip control in the turnig prjzess. / B. A. Worthifigton - *International Journal of Machine Tool Design and Research*. - 1977. – Vol. 65. – P. 103-116.

References

1. Burdejnaja, VM & Pashhenko, JeA 2013, 'Tochnost koordirovannyh razmerov pri obrabotke otverstij bez napravlenija rezhushhego instrumenta', *Mashynobuduvannia*, Ukrainaska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 12, pp. 125-129.
2. Carlos, G & Soares, O 2009, *Analysis and Design of Marine Structures*, CRC Press, New York.
3. Oberg, E1920, *Gage design and gage making*, New York.
4. Ettinger, WJ & Bartky, W 1936, 'Basis for Determining Manufacturing Tolerances', *The Maschinist*, vol. 80, no. 36, pp. 23-28.
5. Huhnin, VP & Oborskyi, HO 2011, *Metrolohichne zabezpechennia ta povirka zasobiv vymiriuvanoi tekhniky fizychnykh velychyn*, Nauka i tekhnika, Kyiv.
6. Anuriev, VI 2001, *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelja*, vol. 2, 8th edn, Mashinostroenie, Moskva.
7. Fridlender, IG 1980, *Raschety tochnosti mashin pri proektirovanii*, Vysshaja shkola, Kiev, Doneck.
8. Bazrov, BM 1978, *Tehnologicheskie osnovy proektirovanija samopodnastraivajushhihsja stankov*, Mashinostroenie, Moskva.
9. Portman, VT 1981, 'Universalnyj metod rascheta tochnosti mehanicheskikh ustrojstv', *Vestnik mashinostroenija*, no. 7, pp. 12-17.
10. Krause – Leipoldt, R1980, 'Für Sonderwerk - zeug – maschinen', *Standartisierte Baueinheiten Maschinenmarkt*, iss, 86, nol. 68, pp. 1300-1302.
11. Worthifigton, V1977, 'Comprehensive literature survey of chip control in the turnig prjzess', *International Journal of Machine Tool Design and Research*, no. 65, pp. 103-116.

Стаття надійшла до редакції 20 березня 2020 р.