

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## НАУКОВИЙ ВІСНИК Таврійського державного агротехнологічного університету *Технічні науки*

## SCIENTIFIC BULLETIN OF TAVRIA STATE AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY *Technical sciences*

*Виходить 2 рази на рік  
Видається з 2011 р.*

**Випуск 15, том 1  
Issue 15, volume 1**

**WEB:** <https://oj.tsatu.edu.ua>

**DOI:** 10.32782/2220-8674-2025-15-1



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2025



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. Вип. 15, т. 1. 354 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

**Головний редактор**

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,  
д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Editor in chief**

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of Ukraine,  
Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Заступники головного редактора**

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України, д-р техн. наук,  
проф. (Україна)  
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Deputy editors in chief**

Nadykto V., corresponding member of NAAS of Ukraine,  
Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Відповідальний секретар**

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Executive secretary**

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Технічний секретар**

Погорельцева Д. О. (Україна)

**Technical secretary**

Pogoreltseva D. (Ukraine)

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)  
Даманаскас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)  
Івановс Семјонс, д-р техн. наук (Латвія)  
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)  
Паскуцці Сімонє, PhD, доц. (Італія)  
Финдура Павол, PhD, проф. (Словакія)  
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

**SECTORAL MACHINE BUILDING**

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)  
Damauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)  
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)  
Olt Juri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)  
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)  
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)  
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)  
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)  
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)  
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Кузнєцов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,  
ELECTRICAL ENGINEERING AND  
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)  
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)  
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pliuhin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)



**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Ляковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Холодник Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Євлаш В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**НАУКОВИЙ ВІСНИК  
Таврійського державного  
агротехнологічного університету**

**Випуск 15, том 1**

**Засновник**

Таврійський державний агротехнологічний  
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 2011 році

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.  
Виходить 2 рази на рік

Рекомендовано до публікації вченою радою  
Таврійського державного агротехнологічного  
університету імені Дмитра Моторного  
Протокол № 9 від 30.04.2025 р.

«Науковий вісник ТДАТУ» включено до **Категорії Б**  
Переліку наукових фахових видань України (технічні  
науки) на підставі Наказів МОН України від 17 березня  
2020 року № 409 (Додаток № 1); від 2 липня 2020 року  
№ 886 (Додаток № 4); від 24 вересня 2020 року № 1188  
(Додаток № 5).

**Адреса редакції**

*Юридична:* 72312, Запорізька обл.  
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18  
*Фактична:* 69600, Запорізька обл. м. Запоріжжя,  
вул. Жуковського, 66  
<https://oj.tsatu.edu.ua>,  
DOI: 10.32782/2220-8674-2025-15-1

**COMPUTER SCIENCES**

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

**FOOD TECHNOLOGIES**

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**SCIENTIFIC BULLETIN OF TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

**Issue 15, volume 1**

**Founder**

Dmytro Motornyi Tavria State  
Agrotechnological University

Founded in 2011

Certificate of governmental registration  
KB No. 24285-14125nP dated December 27, 2019  
Published 2 times a year

Recommended for publication by the Academic  
Board of Dmytro Motornyi Tavria State  
Agrotechnological University  
Record No. 9 dated April 30, 2025

Scientific bulletin of TSATU is included in the List of  
scientific professional editions of Ukraine (technical  
sciences), **category B** (on the basis of the Orders of the  
MES of Ukraine dated March 17, 2020 No. 409 (Appendix  
No. 1); dated July 2, 2020 No. 886 (Appendix No. 4);  
dated September 24, 2020 No. 1188 (Appendix No. 5).

**Address of the Editorial office**

*Legal adress:* 72312, Zaporizhzhia region  
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave.  
*Actual address:* 69600, Zaporizhzhia region  
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.  
<https://oj.tsatu.edu.ua>,  
DOI: 10.32782/2220-8674-2025-15-1

© Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного, 2025



## ЗМІСТ

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<b>О. Fomin, O. Burlutskyi, I. Voronko, O. Bursuk, O. Kozachuk.</b> Optimization of the chemical composition of steel for engineering structures by the criterion of stabilization of mechanical properties.....	10
<b>Є. А. Гавриленко, Ю. В. Холодняк, І. Р. Тетервак.</b> Розробка алгоритму формування просторових монотонних кривих.....	18
<b>D. Zhuravel, A. Bondar.</b> Improvement of the control system of wheel tractors.....	27
<b>М. Л. Заєць.</b> Оцінювання ефективності застосування обприскувача з регулятором норми внесення за змінної робочої швидкості.....	40
<b>Р. В. Кириченко, М. В. Бакум, О. Б. Козій, Є. В. Лубченко.</b> Результати польових досліджень дводискових сошників для сівби зернових культур за технологією Mini-till.....	53
<b>О. С. Ковязін, І. О. Чижиков, С. В. Дереза, А. С. Пастушенко.</b> Аналіз альтернативних джерел енергії для терморегуляції повітря у тваринницьких приміщеннях.....	61
<b>Т. О. Кутковецька, О. Б. Мелентьєв.</b> Модернізація корпусу плуга з обґрунтуванням його конструктивних параметрів.....	68
<b>В. О. Лукаш.</b> Теплова обробка сільськогосподарських матеріалів і шляхи підвищення її ефективності.....	75
<b>В. Т. Надикто.</b> Дослідження впливу параметрів постійної технологічної колії на величину непродуктивної площі поля.....	82
<b>О. А. Новохат, Д. І. Гончаренко.</b> Моделювання комп'ютерної симуляції розподілу температурних полів у напускному пристрої екструдера 3D-принтера.....	89
<b>Н. О. Паляничка, О. О. Червоткіна, О. О. Ковальов, В. Ф. Ялпачик.</b> Дослідження ефективності диспергування молочного жиру в гомогенізаторі пульсаційного типу.....	97
<b>С. В. Попов.</b> Дослідження точності оброблення циліндра різцем із твердого сплаву.....	105
<b>К. О. Самойчук, В. А. Самохвал.</b> Дослідження роботи шнекового прес-екструдера в парі з багатосекційним пристроєм формування паливних брикетів.....	114
<b>С. В. Кюрчев, К. О. Самойчук.</b> Розробка технології виробництва молочних вершків із застосуванням струминного та пульсаційного гомогенізаторів.....	121
<b>О. Г. Скляр, Р. В. Скляр, А. С. Комар, В. Д. Акулов.</b> Технологічні аспекти оптимізації біогазових установок.....	129
<b>С. П. Степаненко, В. Г. Мироненко, С. П. Погорілий, А. Я. Кузьмич, В. О. Швидя, І. С. Попадюк.</b> Аналіз та розвиток моделей вібраційного переміщення зернівки в процесах сепарування зернових матеріалів.....	136
<b>О. О. Червоткіна, О. П. Прокопенко, Н. О. Паляничка.</b> Гранюлювання вторинних продуктів переробки.....	147
<b>С. С. Швець, В. С. Калина.</b> Мехатронний комплекс для виробництва комбікорму: автоматизація, ефективність, інновації.....	151

**ЕНЕРГОВИРОБНИЦТВО (ЗА СПЕЦІАЛІЗАЦІЄЮ)**

<b>О. Ю. Вовк.</b> Діагностування електрифікованих робочих машин в експлуатаційних умовах.....	162
<b>С. В. Галько, О. В. Сотнік, О. О. Мірошник, О. В. Сотнік, Д. М. Зеленков.</b> Збалансування графіка навантаження сільських комунальних споживачів з використанням сонячних панелей та накопичувачів енергії.....	171
<b>С. Й. Мисак, С. П. Шаповал.</b> Розроблення гібридного теплового фотоелектричного геліоколектора та аналіз його ефективності.....	181
<b>T. Shchur, K. Wittek, O. Miroshnyk, S. Halko, D. Zelenkov.</b> The effect of toxic and harmful emissions of exhaust gases from aviation engines on the environment.....	192

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

<b>Д. В. Букатов, Я. О. Колодінська, О. І. Романенко, Д. О. Гудаков.</b> Використання процедурної генерації для підвищення ефективності розроблення та персоналізації програмних інтерфейсів.....	201
<b>О. Г. Зінов'єва, С. В. Шаров.</b> Імітаційне моделювання логістики в аграрному секторі.....	209
<b>А. А. Клєпцов, В. А. Гусєва-Божаткіна.</b> Алгоритм покращення взаємодії користувачів у мобільних іграх через адаптивний перезапуск гри.....	214
<b>D. Lubko.</b> Description of the database development methodology for creating a digital portal for farm holdings.....	222
<b>Ю. О. Сіциліцин, М. В. Шлофаст.</b> Порівняльний аналіз ефективності оброблення великих табличних даних: Excel/VBA проти Python.....	230
<b>О. В. Скляренко, Г. М. Терещук, О. Ю. Ніколаєвський, О. А. Скляренко.</b> Аналітичне та імітаційне моделювання системи масового обслуговування на прикладі сервісного центру технічної підтримки комп'ютерів.....	237
<b>Р. О. Яровий, А. В. Подвиженко, А. М. Переверзєв, С. В. Левченко.</b> Публічні Wi-Fi мережі: захист особистої інформації .....	245

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

<b>С. С. Андрєєва, Є. П. Пивоваров, М. Б. Колеснікова, А. М. Дихтярь.</b> Вплив сучасних форматів закладів ресторанної індустрії на розроблення та впровадження інноваційних технологій продукції власного виробництва.....	251
<b>A. V. Antonenko, L. V. Val-Prylypko.</b> Quality and safety of mayonnaise based on blended oil, eggplant powder and gum arabic.....	259
<b>С. П. Боковець, О. Кошель.</b> Сучасні технології та обладнання для кулінарних експериментів у молекулярній гастрономії.....	267
<b>С. П. Боковець, Т. І. Маренкова.</b> Інноваційне устаткування для малих пивоварень як фактор підвищення ефективності виробництва.....	273
<b>Н. В. Болгова, Б. Ю. Луханін.</b> Вплив війни на молочну галузь в Україні.....	280



<b>А. П. Драган, В. І. Карась.</b> Вплив стандартизації на виробництво й експорт ріпаку та продуктів його перероблення.....	287
<b>І. Є. Іванова, І. А. Кривонос, С. В. Басанець, Я. І. Пендрак.</b> Формування обсягів виробництва вишні за дії абіотичних чинників.....	294
<b>С. Л. Колесніченко, М. А. Кашкано.</b> Використання соків у технології приготування омлету.....	301
<b>О. Ю. Кошель, В. І. Пономаренко.</b> Особливості технології бісквіту з використанням борошна зеленої гречки.....	309
<b>М. О. Семенов, Л. М. Кюрчева.</b> Потреба в інноваційних підходах до створення дегідратованих продуктів із пролонгованим терміном зберігання для гуманітарних потреб.....	316
<b>О. І. Мамай, Т. О. Кузьміна, Т. О. Яковенко, М. І. Валько, Ю. В. Березовський.</b> Удосконалення технології міцних напоїв з плодових дистилятів.....	319
<b>О. Г. Серета, А. О. Геліх, О. А. Воронін.</b> Оптимізація рецептурного складу збивного бісквітного напівфабрикату з додаванням борошна із цвіркунів та цукрозамінників.....	331
<b>Є. В. Чебаненко, О. Ю. Мельник.</b> Застосування інфрачервоного нагрівання для підвищення смакових якостей бобових.....	339
<b>Т. О. Яковенко, О. І. Мамай, М. І. Валько, О. В. Стоянова, К. В. Зубкова.</b> Удосконалення технології червоних кріплених десертних вин.....	346

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-12>

УДК 621.941

С. В. Попов, канд. техн. наук  
Полтавський державний аграрний університет  
e-mail: stanislav.popov@pdau.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2381-152X

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ЦИЛІНДРА РІЗЦЕМ ІЗ ТВЕРДОГО СПЛАВУ

*Анотація.* Одним із показників ефективної роботи сучасного металорізального обладнання є точність оброблення. Важливим етапом у технології машинобудування є перехід від застарілих моделей металорізальних верстатів до обладнання із числовим програмним забезпеченням. Цього можливо досягти за умови збереження та суттєвого покращення точності оброблення, зокрема розточування отвору твердосплавним різцем у чавунній корпусній деталі.

Для оцінювання точності оброблення на металорізальному верстаті із числовим програмним керуванням проведено вимірювання розмірних параметрів циліндра. Здійснено статистичне оброблення результатів, яке дозволило зробити висновки щодо необхідності додаткового підналагодження обладнання, а також імовірної кількості браку.

*Ключові слова:* металорізальний верстат, зношування, різальний інструмент, статистичне оброблення, допуск, варіаційний ряд, гістограма, момент розподілу, підналагодження, брак продукції.

*Постановка проблеми.* Точність розмірів є одним із найважливіших показників ефективності роботи технологічного обладнання (металорізальні верстати) під час оброблення виробів машинобудування. Суттєвий вплив також має точність та якість виконання геометричних параметрів і безпосередньо конструкції різального інструмента [1; 2].

Одним із напрямів діяльності ПрАТ «Полтавський машинобудівний завод» є виготовлення обладнання для перероблення м'яса. Зокрема, вовчок-м'ясорубка марки К7-ФВП-160 (рис. 1, табл. 1) призначений безпосередньо для процесу подрібнення м'яса без кісток та м'ясних продуктів на етапі виробництва фаршу для різноманітних м'ясних виробів, що охолоджені до температури 4...12°C чи впливом низьких температур до 2...3°C [3].

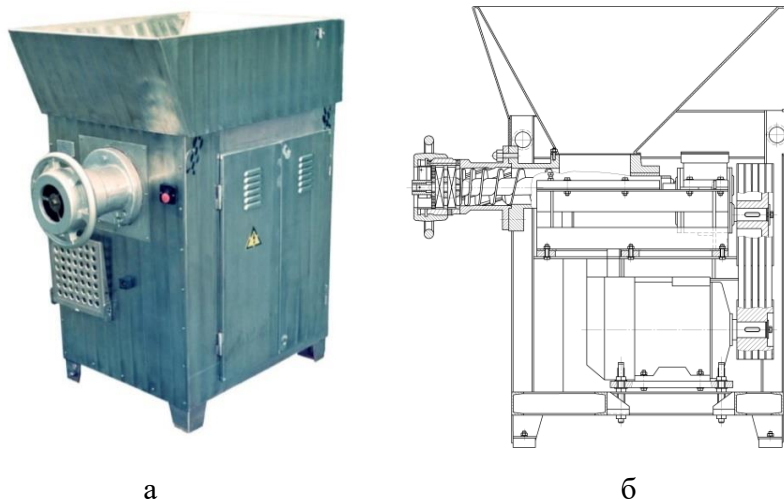


Рис. 1. Вовчок-м'ясорубка марки К7-ФВП-160 [3]: а – вид загальний; б – конструктивна схема

Таблиця 1

Технічна характеристика вовчка-м'ясорубки марки К7-ФВП-160 [3]

Назва параметра	Величина
Продуктивність, кг/год	5000
Діаметр решіток ножових, мм	160
Висота для завантаження сировини, мм	1600
Висота для вивантаження подрібненого продукту, мм	950
Місткість чаші завантаження, м <sup>3</sup>	0,2
Потужність електричного двигуна, кВт	22

Під час розроблення нового технологічного процесу (перехід із застарілого обладнання на верстат із числовим програмним керуванням моделі 16К20Ф3) оброблення циліндра вовчка (рис. 2) виникла необхідність дослідити точність розточування деталі, виготовленої з чавуну марки СЧ20 (отвір  $\varnothing 160H11$  мм) твердосплавним різцем ВК6 із використанням методів математичної статистики. Це має допомогти під час визначення точності обробки на обладнанні із ЧПК.

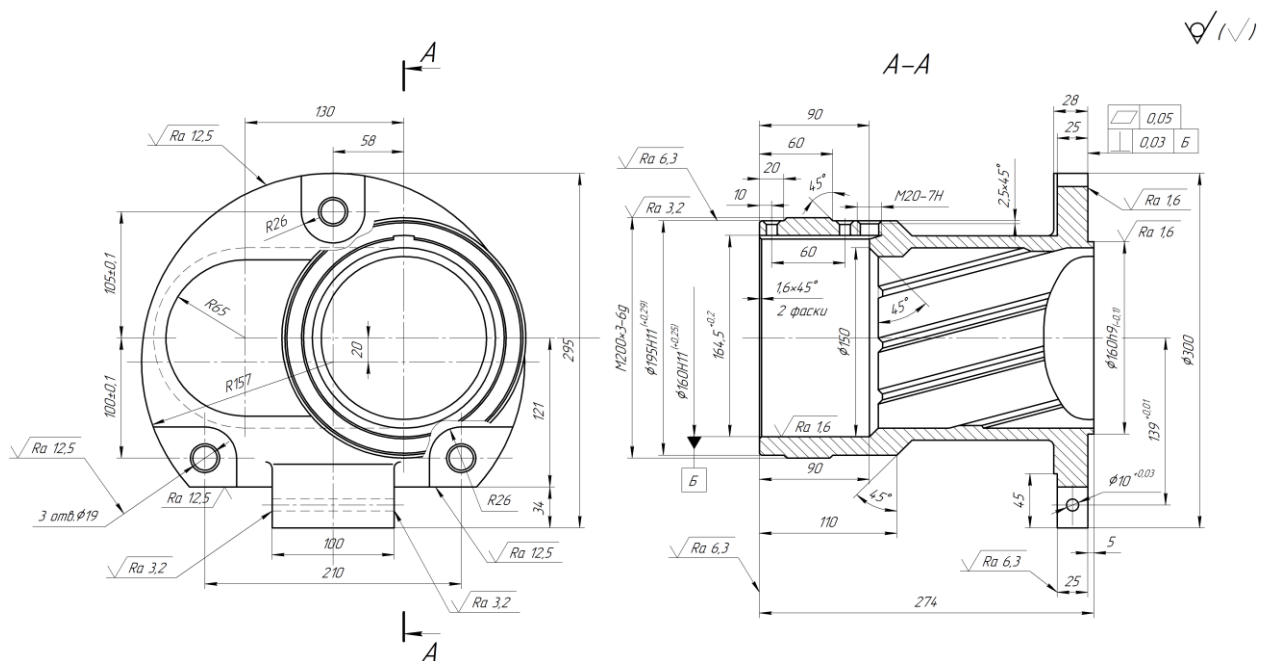


Рис. 2. Циліндр вовчка

*Аналіз останніх досліджень.* Значну кількість наукових робіт присвячено дослідженню процесів, що супроводжують токарне оброблення виробів із чавуну. Зокрема, науковці [4] зазначають, що оброблення металів різанням є однією з найважливіших операцій надання матеріалам необхідної форми. З огляду на це вони дослідили вплив сили різання на процеси деформації, зносу інструменту, напруження стиску з використанням методів оптимізації. Для прогнозування потужності різання використано аналітичний та експериментальний методи. Зазначено суттєвий вплив на зусилля під час різання таких факторів, як: швидкість; глибина; геометричні параметри різального інструменту. Зменшення зносу різального інструменту можливо завдяки скороченню вібрацій та величини сили різання.

Автоматизований контроль стану умов оброблення, заснований на вимірюваннях датчиками фізичних величин, що пов'язані зі зносом різального інструменту, пропонується в роботі [5]. Вони можуть бути використані як ознаки зношування різального інструменту. Однак ці

величини залежать не тільки від зносу, а також низки інших параметрів випадкового характеру. Запропоновано використовувати штучний інтелект для аналізу сигналів із різних датчиків для вивчення стану різальної кромки інструменту.

Під час оброблення важлива стійкість різального інструменту [6]. Її значення спрогнозувати доволі складно, тому що кожен інструмент та матеріал має різні характеристики. Для прогнозування ресурсу запропоновано використовувати рівняння Тейлора з константами, що враховують конкретні умови оброблення.

Стрімкий розвиток конструкційних матеріалів вимагає їх оброблення прогресивними різальними інструментами, що повинні мати високу термостійкість, зносостійкість і твердість [7]. Цим вимогам цілковито відповідають керамічні різальні інструменти, зокрема для оброблення чавуну. Проведено дослідження величини зносу керамічного різального інструменту під час оброблення на верстаті із числовим програмним керуванням. Зазначено, що підвищення швидкості різання впливає безпосередньо на зношування. Величина зносу різального інструменту має прямопропорційну залежність із поверхневою шорсткістю заготовки.

Авторським колективом [8] наведено результати дослідження стосовно оброблення чотирьох сортів чавуну інструментом із твердосплавним покриттям, а також без нього. Ефективність інструментів оцінювалася на основі даних експериментів зносу їх різальної частини, зміни сили різання, а також середньої температури.

Серед основних запитів сучасної промисловості слід зазначити якість обробки шляхом вибору матеріалів, а також методів оброблення [9]. Проведено дослідження токарного оброблення, початковими даними для якого були частота обертання шпинделя, подача та глибина різання. Досліджувалися такі параметри оброблення чавуну: час оброблення; швидкість знімання припуску; поверхнева шорсткість. Аналіз проведено з використанням емпіричного рівняння, що зіставлялося з даними експериментів.

Цікавим для ознайомлення є проведений порівняльний аналіз чистового фрезерування корпусної деталі [10]. Оброблення здійснювалася на звичайному верстаті, а також верстаті з числовим програмним керуванням. Виявлено рівень впливу елементарних похибок на точність оброблення. Визначальний вплив безпосередньо на точність оброблення на звичайному верстаті мають похибки налаштування та розмірного зношування фрези. На верстаті з числовим програмним керуванням маємо зменшену похибку налаштування. Також зменшено похибку інструменту шляхом програмованої корекції інструмента. Сумарна похибка на верстаті з числовим програмним керуванням є меншою у 2,6 рази, ніж на звичайному.

Отже, чималу кількість наукових досліджень, як закордонних, так і вітчизняних науковців, присвячено безпосередньо вивченню впливу режимних параметрів оброблення на зношування різального інструменту, визначення величини потужності різання, стан кромки, значення періоду стійкості, похибки оброблення. Водночас питанням розмірної точності виробів за результатами верстатної обробки приділено недостатньо уваги.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* За реальних умов у сучасному виробництві будь-який процес механічного оброблення відбувається під впливом чималої кількості факторів. Вони залежать від нестабільності припуску оброблення, непостійності режимів різання, твердості поверхневого шару матеріалу, складників сили різання, теплових деформацій тощо. Унаслідок цього розміри, що отримані після оброблення, носять випадковий характер. Практично неможливо виявити та провести оцінювання всіх закономірностей, що пов'язують похибки оброблення з факторами впливу. Таким чином, сучасні методи оцінювання похибок оброблення засновані на теоретико-ймовірнісному підході. Вони дозволяють розв'язати наступні задачі: встановлення виду матмоделі похибки; визначення характеристик матмоделі; визначення показників, що характеризують точність оброблення.



Для оцінювання точності оброблення необхідно виконати такі завдання: 1) провести вимірювання розмірного параметру циліндра, що контролюється, з побудовою точкових діаграм; 2) здійснити статистичне оброблення результатів; 3) провести детальний аналіз результатів статистичного оброблення.

Дослідження точності операції токарної обробки здійснюємо вимірюванням загальної вибірки, отриманої з одного металорізального верстату за час між його налагодженнями. Вплив зносу різального інструменту вважаємо мінімальним і не враховуємо його.

*Основна частина.* Проводимо дослідження точності оброблення діаметрального розміру циліндра вовчка, а саме  $\varnothing 160\text{H}11$  мм. Оброблення здійснюємо на токарно-гвинторізному верстаті із ЧПК моделі 16К20Ф3. Метою аналізу розподілу точності оброблення деталей у партії є прогноз імовірної кількості придатних та бракованих деталей на операції.

Початковими даними є: дійсні відхилення оброблюваних деталей  $x_i$ ; кількість деталей у виборці становить 60 шт.; допуск на оброблення – 250 мкм; максимальне граничне відхилення  $x_{max} = 250$  мкм; мінімальне граничне відхилення  $x_{min} = 0$  мкм.

Варіаційний ряд отримуємо з початкових даних розташуванням у порядку зменшення (табл. 2).

Для побудови гістограми  $\widehat{f}_N(x)$ , що є емпіричним аналогом функції щільності розподілу  $f(x)$ , виконуємо ряд певних дій.

Визначаємо попередню кількість квантів (інтервалів), на які необхідно розділити вісь  $Ox$ :

$$K = 1 + 3,2 \lg N, \quad (1)$$

де  $N$  – число даних варіаційного ряду.

$$K = 1 + 3,2 \lg 60 = 6,69.$$

Кінцевий результат заокруглюємо до найближчого цілого числа, тобто  $K = 7$ .

Таблиця 2

Варіаційний ряд

248	170	139	114	105	73
230	168	138	113	98	70
220	162	136	112	87	64
212	160	136	112	86	62
208	159	135	110	86	50
191	159	130	110	80	49
189	155	121	110	80	30
182	154	121	109	78	23
182	140	120	108	76	10
170	140	115	107	76	9

Довжина інтервалу:

$$\Delta x = (x_{max} - x_{min}) / K, \quad (2)$$

$$\Delta x = (250 - 0) / 7 = 35,7.$$

Центр розподілу або середина області зміни вибірки:

$$(x_{max} + x_{min}) / 2, \quad (3)$$

$$(250 + 0) / 2 = 150.$$

Визначаємо число спостережень  $N_m$ , що відповідають кожному інтервалу, причому  $N_m$  дорівнює числу членів варіаційного ряду, для яких виконується нерівність:

$$x_m \leq x_i < x_m + \Delta x, \quad (4)$$

де  $x_m$ ,  $x_m + \Delta x$  – межі інтервалу  $m$ .

Під час використання формули (4) значення  $x_i$ , що потрапило на межу між  $(m - 1)$  та  $m$  інтервалами, відносять до інтервалу  $m$ .

Визначаємо відносну кількість спостережень  $N_m / N$  (відносна частота), що відповідають даному інтервалові.

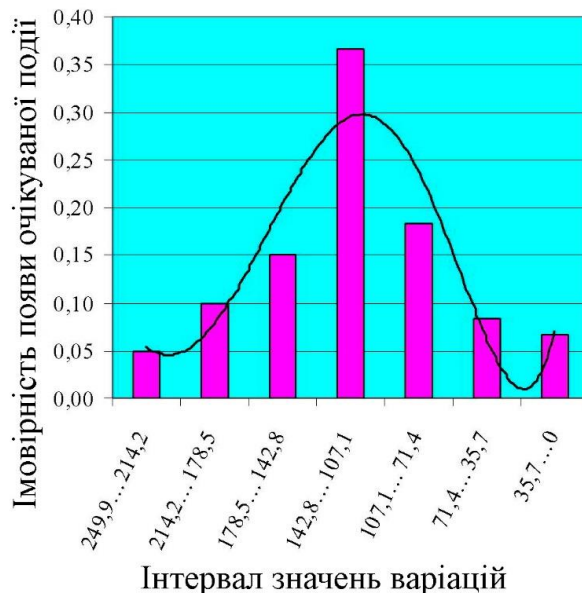
Оброблення даних нашого експерименту представимо в табличній формі (табл. 3).

Таблиця 3

Оброблення експериментальних даних

№ інт.	Інтервал	$m$	$p = m / n$	Середина інтервалу
1	249,9...214,2	3	0,05	232,05
2	214,2...178,5	6	0,10	196,35
3	178,5...142,8	9	0,15	160,65
4	142,8...107,1	22	0,37	124,95
5	107,1...71,4	11	0,18	89,25
6	71,4...35,7	5	0,08	53,55
7	35,7...0	4	0,07	17,85
	$\Sigma$	60	1,00	–

Побудуємо гістограму (рис. 3), що є ступінчастою кривою. Її значення на  $m$  інтервалі ( $x_m$ ,  $x_m + \Delta x$ ) постійно дорівнює  $N_m / N$  ( $m = 1, 2, \dots, K$ ).



$$y = 0,0009x^6 - 0,0229x^5 + 0,2381x^4 - 1,2189x^3 + 3,1519x^2 - 3,7491x + 1,6909$$

$$R^2 = 1$$

Рис. 3. Гістограма розподілу частоти появи випадкової величини

Використаємо метод моментів для порівняння емпіричного розподілу з теоретичним (приблизно приймаємо нормальним). Для цього необхідно визначити моменти розподілу та порівняти їх із моментами теоретичного нормального розподілу.

Функція диференціальна для закону нормального розподілу має вид:



$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (5)$$

де  $e$  – основа натурального логарифму;

$x_i$  – значення аргументу, що відповідає результатам вимірювань;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне для ряду параметрів;

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення.

Випадкові величини характеризують саме закони розподілу імовірностей. Під час математичних операцій, що стосуються випадкових величин, урахування розподілів потребує чималої обчислювальної роботи. У практичних розрахунках користуються числовими характеристиками розподілів. Серед них найбільш інформативними будуть моменти розподілу.

Центральний момент першого порядку буде нульовим. Розсіювання варіацій відносно середнього значення характеризує центральний момент 2-го порядку. Він називається дисперсією  $D_x$  або  $\sigma_x^2$  ( $\sigma_x$  – середньоквадратичне відхилення). Центральний момент 3-го порядку характеризує асиметрію розподілу. Гостроверхність кривої щільності розподілу характеризує центральний момент 4-го порядку.

Ексцес використовуємо для порівняння експериментального закону розподілу з нормальним:

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4}. \quad (6)$$

Показник асиметрії:

$$q_s = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}. \quad (7)$$

Для нормального розподілу:

$$\mu_1 = 0, \mu_2 = D_x, \mu_3 = 0, \mu_4 = 3\sigma_x^4, E = 0, q_s = 0. \quad (8)$$

Розрахунок розпочинаємо з визначення середнього арифметичного значення  $\bar{X}$ , а також оцінювання середнього квадратичного відхилення  $\bar{\sigma}$ . Потім перевіряємо гіпотезу про нормальність розподілу відхилень. Для цього визначаємо величину ексцесу  $E$ , показник асиметрії  $q_s$ , а також їх розрахункові середньоквадратичні відхилення. Потім визначаємо коефіцієнт точності  $\mu$  та правильність порівнянням фактичного  $E_\phi$  та допустимого  $E_\delta$  зміщення рівня налагодження, фактичного  $l_\phi$  та допустимого  $l_\delta$  коефіцієнта точності налагодження. Коефіцієнт точності  $\mu$  визначимо як результат ділення граничної похибки визначеної величини  $6\bar{\sigma}$  та допуску  $\sigma$  на оброблення. Якщо  $\mu > 1$ , то точність процесу є недостатньою. Деяка частина деталей піде у брак. Можливий випадок, що всі браковані деталі матимуть розміри менші допустимих. Тобто брак  $q_x$  за заниженими розмірами. Якщо всі браковані деталі матимуть розміри більші допустимих – брак  $q_x$  за завищеними розмірами. Імовірність відсотку браку  $q_1$  і  $q_2$  визначається за формулами з використанням функцій Лапласу. Величина  $E_\phi$  є дійсним зміщенням центру налагодження обладнання відносно середини поля допуску. Знак вказуватиме на напрям зміщення. Якість налагодження обладнання вважається достатньою, якщо  $l_\phi < l_\delta$ . Якщо навпаки, то налагодження є незадовільним.

За  $\mu = 1$  для роботи без браку необхідно, щоб виконувалася умова  $l_\phi = l_\delta = 0$ , що неможливо із практичної точки зору. Якщо  $\mu < 1$ , то точність процесу є цілком задовільною. Робота без браку можлива, якщо  $E_\phi < E_\delta$ .

Визначаємо моменти розподілу (табл. 4).

Для нашого випадку було отримано: середнє значення (математичне очікування)  $m = 121,29$ ; дисперсія  $\sigma^2 = 2868,65$ ; середнє квадратичне відхилення  $\sigma = 53,56$ ; коефіцієнт ексцесу  $E = 1,01$ ; коефіцієнт асиметрії  $q(s) = 0,001$ ; величина допуску  $\delta = 250$  мкм; коефіцієнт точності  $\mu = 17,60$ .



Визначимо фактичну похибку налагодження верстату:

$$E_{\phi} = x_{cp} - \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}; \quad (9)$$

де  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальне та мінімальне граничні відхилення.

Таблиця 4

Моменти розподілу

$x - x_{cp}$	$(x - x_{cp})^2$	$(x - x_{cp})^3$	$(x - x_{cp})^4$	Моменти			
				$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$
110,76	12267,04	1358656,37	150480251,01	11,60	613,35	67932,82	7524012,55
75,06	5634,00	422888,31	31741996,56	19,64	563,40	42288,83	3174199,66
39,36	1549,21	60976,89	2400050,38	24,10	232,38	9146,53	360007,56
3,66	13,40	49,03	179,44	45,82	4,91	17,98	65,80
-32,04	1026,56	-32891,03	1053828,72	16,36	188,20	-6030,02	193201,93
-67,74	4588,71	-310839,05	21056237,44	4,46	382,39	-25903,25	1754686,45
-103,44	10699,83	-1106790,79	114486439,07	1,19	713,32	-73786,05	7632429,27
110,76	12,267,04	1358656,37	150480251,01	11,60	613,35	67932,82	7524012,55
Усього:				123,17	2697,96	13666,83	20638603,2

$$E_{\phi} = 121,29 - \frac{250 - 0}{2} = -3,71.$$

Визначимо допустиму похибку налагодження верстату:

$$E_{\delta} = \frac{T}{2} - \frac{\omega_c}{2}; \quad (10)$$

де  $T$  – допуск на розмір;

$$\omega_c = 6\sigma;$$

$$E_{\delta} = \frac{250}{2} - \frac{6 \cdot 53,56}{2} = -35,68.$$

Результати для порівняння заносимо до табл. 5.

Таблиця 5

Характеристики точності

Характеристики	За результатами вимірювань	Для нормального розподілу
Центральний момент 2-го порядку, $\mu_2$	2697,96	2868,65
Центральний момент 3-го порядку, $\mu_3$	13666,83	0
Центральний момент 4-го порядку, $\mu_4$	20638603,22	24687519
Коефіцієнт ексцесу, $E$	2,84	0
Коефіцієнт асиметрії, $q(s)$	0,001	0

Оскільки  $E > 0$ , то крива щільності розподілу є більш гостроверхою, ніж крива нормального розподілу. Розподіл зрушений вправо.

Визначимо відсоток браку із застосуванням функцій Лапласу. Імовірний відсоток браку за верхньою та нижньою межами допуску:

$$P_{\sigma, \sigma} = (0,5 - \Phi(t_{\sigma})) \cdot 100\% ; \quad (11)$$

$$P_{\sigma, n} = (0,5 - \Phi(t_n)) \cdot 100\% ; \quad (12)$$

де

$$t_{\sigma} = \frac{x_{\sigma} - x_{cp}}{\sigma} , \quad (13)$$

$$t_n = \frac{x_n - x_{cp}}{\sigma} . \quad (14)$$

Тобто матимемо:

$$P_{\sigma, \sigma} = \left( 0,5 - \Phi \left( \frac{250 - 121,29}{53,56} \right) \right) \cdot 100\% = 1,92\% ;$$

$$P_{\sigma, n} = \left( 0,5 - \Phi \left( \frac{0 - 121,29}{53,56} \right) \right) \cdot 100\% = -2,26\% .$$

**Висновки.** Проведено вимірювання розмірного параметру циліндра. Здійснено статистичне оброблення результатів вимірювань та детальний аналіз. Оскільки коефіцієнт точності  $\mu = 17,60 > 1$ , то точність процесу може бути підвищена.  $E_{\sigma} < E_{\phi}$ , тобто  $-35,68 < -3,71$ , що свідчить про можливе підналагодження верстату (наприклад, коригуванням програми). Це безпосередньо вплине на зменшення кількості бракованих деталей. Враховуючи те, що кількість браку не перевищує 5%, то налагодження токарно-гвинторізного верстату із ЧПК моделі 16K20Ф3 під час розточування Ø160Н11 циліндра вовчка-м'ясорубки різцем із твердого сплаву ВК6 вважаємо прийнятним.

#### Список використаних джерел

1. Попов С.В., Васильєв А.В. Підвищення ефективності токарної оброблення гільз циліндрів розчинонасосів. *Scientific Journal ScienceRise*. 2019. № 8(61). С. 35–41. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2019.179035>
2. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування : монографія / Є.А. Фролов та ін. Полтава, 2019. 204 с.
3. Вовчок-м'ясорубка марки К7-ФВП-160. URL: <https://poltavamash.com/ua/component/jshopping/product/view/13/114?Itemid=198> (дата звернення: 16.02.2025).
4. Chandan K., Sanjay K., Ajay K. Reviews of Metal Cutting. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2020. 11(12). P. 1730–1735. <https://doi.org/10.34218/IJARET.11.12.2020.159>
5. Jemielniak K. Tool Condition Monitoring in Metal Cutting. *Soft Modeling in Industrial Manufacturing, Studies in Systems, Decision and Control*. 2018. 183. P. 45–74. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03201-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03201-2_4)
6. Sobron M., Lubis Y., Sofyan D., Steven D., Andri. Tool Life Investigation of Carbide Cutting Tools in the Turning of Cast Iron Material. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 725. 012039. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012039>
7. Lubis S., Darmawan S., Rosehan, Winata W., Zulkarnain M. Tool wear analysis of ceramic cutting tools in the turning of gray cast iron materials. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 857. 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/857/1/012003>
8. Martinez I., Tanaka R., Yamane Y., Sekiya K., Yamada K., Ishihara T., Furuya S. Wear characteristics of coated carbide tools in the turning of ductile cast iron. *Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st century: LEM21*. 2015. 2015.8. [https://doi.org/10.1299/jsmelem.2015.8.\\_0213-1](https://doi.org/10.1299/jsmelem.2015.8._0213-1)
9. Bilal Ahamed S., Lavanyan R., Ranjith T., Basked N., Ganesan M., Vinoth Kumar S. Experimental Investigations and Comparative Analysis of Turning EN-8 & Cast Iron using L9 Orthogonal Array. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2019. 7 (02). P. 1–7. <https://doi.org/10.17577/IJERTCONV7IS02017>



10. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Кулик А.Ф. Порівняльний аналіз точності оброблення на верстаті із ручним керуванням і на верстаті з числовим програмним керуванням. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2016. № 5. С. 116–123.

*Стаття надійшла до редакції 22.02.2025 р.*

**S. Popov**  
**Poltava State Agrarian University**

## **RESEARCH ON THE ACCURACY OF CYLINDER MACHINING WITH A HARD ALLOY TOOL**

### *Summary*

The accuracy of machining on metal-cutting equipment is one of the main indicators of its efficiency. It is crucial for ensuring the quality of finished products. In the conditions of modern mechanical engineering, an important stage is the transition from outdated models of metal-cutting machines to new technologies. For example, machining on machines with numerical software. Thus, new opportunities open up for increasing the accuracy of machining. This will reduce production costs and improve the competitiveness of products.

One of the key tasks that must be solved within the framework of this transition is to ensure high machining accuracy, especially when boring holes with a carbide cutter in a cast-iron body part. The use of a carbide tool allows you to achieve better characteristics during turning. This will also have a positive effect on the accuracy of machining cast-iron products. Nevertheless, to achieve results, it is necessary to conduct a thorough analysis and control of the machining process.

To assess the machining accuracy on a CNC machine tool, the cylinder dimensional parameter was measured. This allowed us to collect data on the accuracy of the hole boring and determine deviations from the specified dimensions. The impact of cutting tool wear is considered minimal, so it was not taken into account. Statistical processing of the measurement results helped to draw conclusions about the need for additional equipment adjustment.

In addition, the results of the experiment allowed us to estimate the probable number of defects. They can occur during the machining process. Determining the causes of deviations and controlling machining accuracy are critically important for preventing the production of defective parts.

Constant monitoring and analysis of machining accuracy is the key to the effective operation of modern metal-cutting equipment and improving the quality of production in general.

**Keywords:** metal-cutting machine, wear, cutting tool, statistical processing, tolerance, variation series, histogram, distribution moment, fine-tuning, processing defect.