

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-03>

УДК (UDC): 519.2:621.658.512

¹Г.С. ГРІНЧЕНКО, кандидат техн. наук,

доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

mail: h.s.hrinenko@karazin.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6498-6142>

¹В.В. ГРІНЧЕНКО,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: greenchenko1234@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5721-9175>

¹М.С. КОЗЛОВ,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: max_kozlov98@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8954-268X>

¹Є.В. ГЕРАСИМОВ,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: zluger@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4026-2796>

¹С.О. ЗАХАРОВ,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: zaharov.lex@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8192-9126>

²О.А. ТЕСЛОВ,

аспірант кафедри мехатроніки та електротехніки

e-mail: trich_@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3673-9117>

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

²Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

17 вул. Вадима Манька, Харків, 61070, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОМУ РОЗПОДІЛУ ТОЧНОСТІ

В статті запропоновано методику до оцінювання якості оброблених деталей шляхом визначення закону розподілу точності дійсних розмірів деталей. Знання закону розподілу випадкових величин розсіювання дійсних розмірів деталей після механічної обробки є важливим, бо це дає можливість управляти якістю по малих вибірках. Для визначення закону розподілу пропонується використовувати криві Пірсона. На масових експериментах перевірено гіпотезу про відповідність законів розподілу певним квалітетом точності. Пропонується для визначення закону розподілу дійсних розмірів після механічної обробки використовувати криві Пірсона. Надано формули та методику для визначення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу за емпіричними значеннями. Проведений аналіз з використанням масових експериментів підтвердив дослідження в тому, що при грубих методах обробки закон розподілу дійсних розмірів деталей близький до нормального, а при точних методах обробки - до закону Сімпсона і рівної ймовірності. Для розподілу рівної ймовірності квадрат асиметрії дорівнює 0, а ексцес дорівнює 1.8. Для розподілу Сімпсона квадрат асиметрії дорівнює 0, а ексцес дорівнює 2.4

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *якість технології, точність, механічне оброблення, малі вибірки.*

Як цитувати: Грінченко Г. С., Грінченко В. В., Козлов М. С., Герасимов Є. В., Захаров С. О., Теслов О. А. Оцінювання якості механічного оброблення шляхом визначення закону розподілу точності. *Машинобудування*. 2024. Вип. 34 С. 31-38. DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-03>

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Одним із найважливіших показників якості в технології машинобудування є точність механічної обробки. Будь-який

технологічний процес містить низку організаційних, технологічних і технічних заходів, що забезпечують задану точність



обробки, реалізація їх на конкретних робочих місцях є умовою необхідною, але не достатньою для забезпечення заданої точності обробки. Для досягнення високої точності механічної обробки необхідно враховувати комплекс чинників, що впливають на кінцевий результат. Фактична точність залежить від безлічі різних чинників, результат дії яких спрогнозувати дуже важко. До них належать жорсткість технологічної системи «станок–приспособлення–інструмент–заготовка», теплові деформації, вібрації, знос інструменту що ріже, а також стабільність режимів обробки. Крім того, важливу роль

відіграють точність вимірювань і контроль геометричних параметрів виробів на всіх етапах технологічного процесу. Результатом впливу чинників є розсіювання дійсних розмірів, яке вивчають за допомогою законів розподілу.

Забезпечення заданої точності обробки вимагає системного підходу, який поєднує ретельне планування технологічного процесу, контроль якості на кожному етапі, удосконалення технологічного оснащення та застосування сучасних методів вимірювання і моніторингу параметрів обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією з ключових тенденцій у сучасному машинобудуванні є досягнення високих стандартів точності та якості обробки поверхонь, що обумовлено жорсткими вимогами до надійності та довговічності деталей в умовах їх експлуатації. Це стосується як підвищення точності геометричних параметрів, так і забезпечення оптимальних фізико-механічних властивостей поверхневого шару, таких як твердість, зносостійкість та опір корозії [1-3].

Для досягнення цих цілей активно впроваджуються новітні технології механічної обробки, зокрема: високоточне шліфування та полірування, лазерна та електроіскрова обробка, методи контрольованого пластичного деформування, а також автоматизація виробничих процесів із використанням числового програмного керування та інтеграція систем моніторингу якості [4-7].

Крім того, розробка інноваційних матеріалів для різальних інструментів [8,9] та вдосконалення мастильно-охолоджувальних рідин сприяють зменшенню зношування інструменту й досягненню більш стабільних результатів обробки [10,11]. Всі ці аспекти дозволяють підвищити ефективність виробничих процесів та адаптувати їх до потреб сучасних ринків.

Разом з тим, підвищення якості та точності у машинобудуванні з точки зору практичних підходів ґрунтується на теоретичних даних статистичного аналізу. Так, у роботі [12] досліджено підходи до

оцінки моделі точності виготовлення деталей з урахуванням її адекватності. Для перевірки адекватності запропоновано застосовувати чутливу характеристику, яка дозволяє точніше описати закони розподілу окремим видам механічної обробки та щодо закону нормального розподілу відповідає розподіл дійсних розмірів деталей у разі грубих квалітетів (восьмого і грубіше). За сьомого квалітету, розсіювання розмірів підпорядковується закону Сімпсона, а за більш високої точності обробки, закону рівної ймовірності [13, 14]. Це пояснюють фізичним сенсом, оскільки під час виготовлення деталей грубих квалітетів виникає велика кількість похибок (розмірне спрацьовування інструменту, нерівномірність припуску заготовок, неоднорідність поверхневого шару заготовок та ін.), вплив кожної незначний. Якщо на дійсний розмір впливає закономірно мінлива похибка, що зростає спочатку уповільнено, а потім прискорено, то розподіл розмірів відбувається за законом Сімпсона. Цей розподіл може мати місце за спільної дії розмірного зносу інструменту що ріже з сильно вираженою фазою початкового зносу і збільшення сили різання наприкінці стійкості інструменту в результаті його прогресуючого затуплення [8-10]. За таких умов кількість чинників зменшується, оскільки процес механічного оброблення є напівчистовим або остаточним, під час якого безліч чинників

нейтралізувалися на попередній операції (чорновій).

Для похибок, що рівномірно зростають (похибки, спричинені розмірним зносом різального інструменту), розподіл відбувається за законом рівної ймовірності. Наприклад, у разі усталеного зносу різального інструменту зменшення його розмірів у часі підпорядковується прямолінійному закону, що відповідно збільшує або зменшує діаметр оброблених заготовок [2, 8, 9, 12]. Знання закону розподілу дуже важливе для розв'язання практичних задач у технології машинобудування, тому що це основна умова для розв'язання цих задач за малими вибірками. Також, за відомого закону

розподілу значно спрощується метод розв'язування практичних задач за рахунок застосування параметричних критеріїв, які забезпечені методично і табульовані.

У процесі аналізу виділено ключові проблеми виробництва деталей, зокрема чинники, що впливають на якість технологічних процесів [15-17]. Оцінювання таких чинників є складним завданням, вирішення якого здійснюється шляхом використання параметрів розсіювання фактичних розмірів, що досліджуються за допомогою законів розподілу. Це дозволяє прогнозувати відхилення, підвищувати точність обробки та забезпечувати високу якість продукції.

Метод визначення закону розподілу розсіювання розмірів деталей після обробки на налаштованих верстатах

Для визначення закону розподілу існує кілька підходів. Перший заснований на математичному аналізі, в основі якого лежить підбір відповідної функції для опису емпіричного розподілу. Для визначення того, наскільки правильно ця функція описує дослідний розподіл, використовують різні критерії згоди (Пірсона, Колмогорова, Мізеса та ін.).

Другий підхід ґрунтується на тому, що кожному теоретичному закону розподілу відповідають цілком певні умови функціонування технологічних процесів. Знаючи ці умови, можна знайти відповідні їм закони розподілу. Цей підхід дістав свій розвиток у роботах А.Б. Яхіна, Н.А. Бородачова, Б.В. Гнеденка, А.М. Гаврилова та ін.

Ще один підхід був представлений англійською школою математичної статистики (Ф. Гальтон, К. Пірсон, Р. Фішер), що пішла шляхом побудови родин сімейств інтерполяційних кривих розподілу, які не мають обґрунтованого зв'язку з реальними умовами виникнення досліджуваних розподілів. Закон Гауса в цій схоластичній «системі», запропонованій і розробленій К. Пірсоном, було зведено до ролі одного з численних різновидів можливих математичних кривих. Систему кривих розподілу детально розробили, забезпечили великими довідковими і розрахунковими таблицями, що

полегшувало практичне їх використання. Розглянемо цей підхід більш детально.

Щільність імовірності $y = f(x)$, графік якої належить сімейству кривих К. Пірсона, є розв'язком диференціального рівняння

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dx} = -\frac{x + c_1}{c_0 + c_1x + c_2x^2} \quad (1)$$

де початком відліку для x слугує середнє значення.

Відповідно до розподілу коренів квадратного тричлена $c_0 + c_1x + c_2x^2$ розрізняють 12 типів розподілів Пірсона. Вид розв'язку рівняння (1) залежить від постійних величин, які пов'язані простими співвідношеннями з моментами відповідного розподілу ймовірностей:

$$c_0 = \frac{\sigma^2(4\eta_2 - 3\eta_1)}{2(5\eta_2 - 6\eta_1 - 9)},$$

$$c_1 = \frac{\sigma\sqrt{\eta_1(\eta_2 + 3)}}{2(5\eta_2 - 6\eta_1 - 9)},$$

$$c_2 = \frac{2\eta_2 - 3\eta_1 - 6}{2(5\eta_2 - 6\eta_1 - 9)},$$

де

$$\eta_1 = \mu_3^2 / \mu_2^3, \quad \eta_2 = \mu_4 / \mu_2^2,$$

$$\mu_k = \int_{l_1}^{l_2} x^k f(x) dx, \quad \dots, \quad k = 2, 3, 4 \dots$$

$$(\mu_0 = 1, \mu_1 = 0)$$

Величини l_1 і l_2 є нижньою і верхньою межами природної області визначення щільності $f(x)$.

Звідси випливає, що розподіл Пірсона повністю визначається першими чотирма моментами. Тому достатньо знайти коефіцієнт асиметрії та коефіцієнт ексцесу, щоб визначити тип цієї кривої. Таким чином, якщо вздовж осей декартової системи координат відкладати відрізки, що відповідають величинам η_1 і η_2 , то в площині η_1, η_2 різним типам кривих K Пірсона відповідатимуть області, криві та точки.

На рисунку 1 представлено область площини (η_1, η_2) , де η_1 - квадрат коефіцієнта асиметрії, η_2 - коефіцієнт ексцесу. Під час вибору моделі в цьому випадку пропонується використовувати істотну відмінність різних класів розподілів за скошеністю та острівцем.

Для вибору моделі за такого підходу необхідно за вибіркою великого обсягу обчислити оцінки показників асиметрії b_1 та ексцесу b_2 і відшукати точку на рис. 1, що відповідає отриманим оцінкам. За великих вибірок обчислення оцінок b_1 і b_2 не складає труднощів:

У роботі запропоновано застосовувати криві Пірсона для визначення закону розподілу дійсних розмірів деталей після механічної обробки. Запропоновано методику для розрахунку коефіцієнтів асиметрії та ексцесу на основі емпіричних даних, що дозволяє точно оцінити характер розподілу.

Аналіз масових експериментів підтвердив висновки:

$$\sqrt{b_1} = \frac{\mu_3^*}{(\mu_2^*)^{3/2}}, \quad b_2 = \frac{\mu_4^*}{(\mu_2^*)^2},$$

μ_k^* - оцінка центрального моменту випадкової величини k -го порядку, яка має вигляд:

$$\mu_k^* = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^k,$$

де n об'єм вибірки та \bar{X} вибіркова середня

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Використовуючи масові випробування щодо точності механічного оброблення, було знайдено b_1 і b_2 . Усі масові випробування підтвердили дослідження Маталіна А.О. в тому, що в разі грубих методів оброблення закон розподілу дійсних розмірів деталей близький до нормального, а в разі точних методів оброблення - до закону Сімпсона і рівної ймовірності. Моделі цих законів розподілу належать області першого типу кривої Пірсона, оскільки для нормального розподілу квадрат асиметрії дорівнює 0, а ексцес дорівнює 3. Для розподілу рівної ймовірності квадрат асиметрії дорівнює 0, а ексцес дорівнює 1.8. Для розподілу Сімпсона квадрат асиметрії дорівнює 0, а ексцес дорівнює 2.4 (див. рис. 1).

Висновки

Для грубих методів механічної обробки розподіл дійсних розмірів наближається до нормального закону.

Для точних методів спостерігається відповідність закону Сімпсона або рівної ймовірності.

Запропоновані підходи демонструють практичну цінність у підвищенні точності та надійності прогнозування якості механічної обробки. Використання кривих Пірсона дозволяє глибше дослідити

закономірності розсіювання розмірів та забезпечити оптимізацію технологічних процесів у машинобудуванні.

Отримані результати мають перспективи для впровадження у

виробництво, зокрема в автоматизовані системи контролю якості, що забезпечить підвищення ефективності виробничих процесів і конкурентоспроможності продукції.

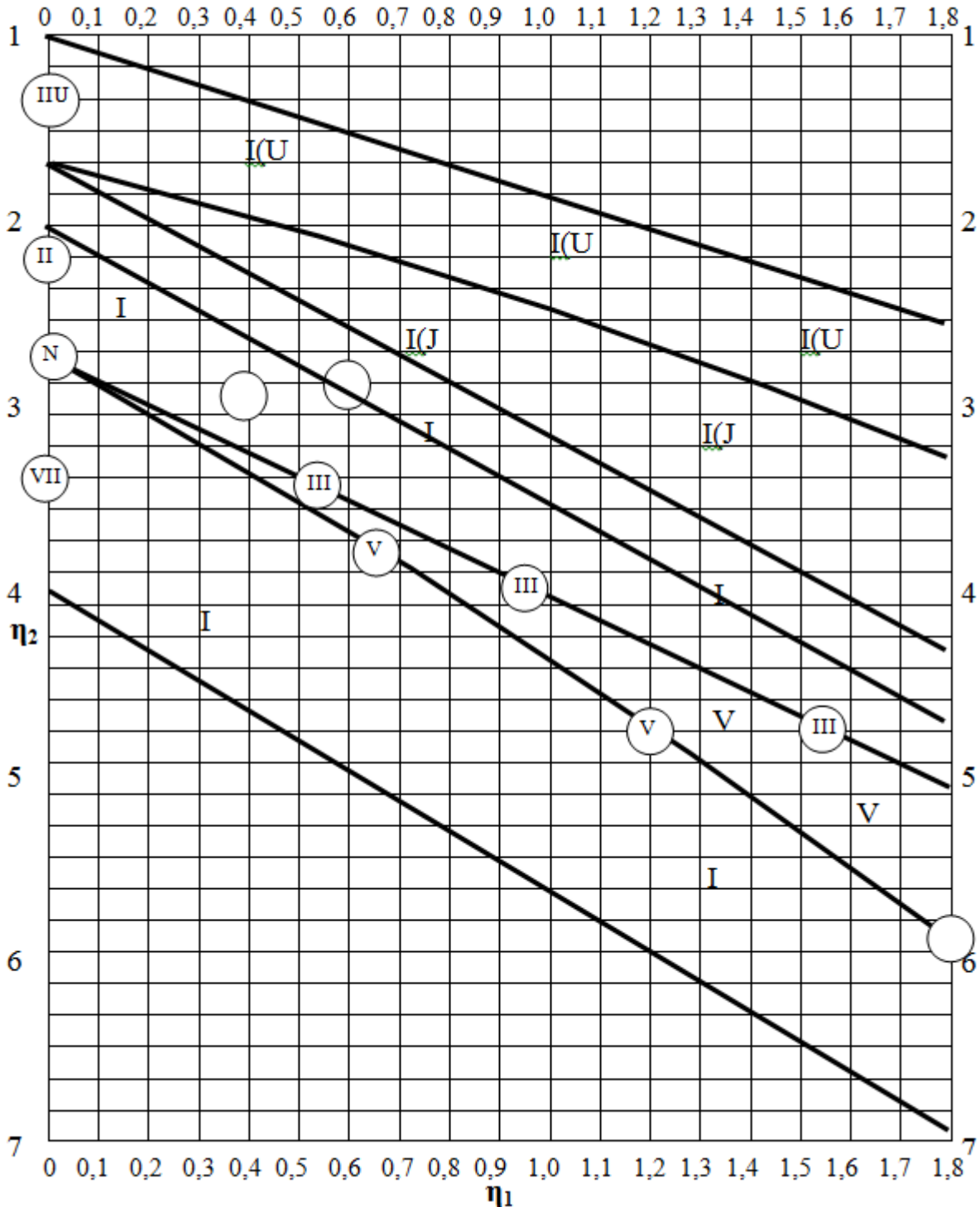


Рис.1- Области в площині (η_1, η_2) для різних розподілів

Fig. 1- Regions in the plane (η_1, η_2) for different distributions

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

Список використаної літератури

1. Кальченко, В. В., Сіра, Н. М., Кальченко, Д. В., & Аксьонова, О. О. (2021). Дослідження процесу фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями інструмента та вала. *Технічні науки та технології*, (4(14)), 018–027. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4\(14\)-18-27](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4(14)-18-27)
2. Бурдейна В.М., Грінченко Г.С., Артюх С.М., Тріщ А.Р. (2021) Точність координувати отворів малого діаметру з напрямком різального інструменту. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. № 2 (8). С.9-14. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.02.02>
3. Грінченко Г.С., Теслов О., Козлов М.С., Марченко О.О., Захаров С.О., Герасимов Є.В. (2022) Алгоритм проектування систем автоматичного управління точністю механічної обробки на верстатах з ЧПУ. *Машинобудування: Збірник наукових праць*. №29. С. 50 -61. DOI 10.32820/2079-1747-2022-29-50-61
4. Cizsak, O., & Kolos, V. O. (2024). Intensification of the technological process of processing bracket-type details. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, (1 (55)), 102-110. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.14>
5. Pukhovskiy, E. S., Prykhodko, V. P., & Gladsky, M. M. (2023). Processing of large-sized parts of hydro pressing and mining equipment. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, (1 (51)), 66-74. <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.11>
6. Kupriyanov, O., Trishch, R., Dichev, D., Hrinchenko, H. (2024) Experimental Studies on the Form Error Effect of the Part Mounting Surface on the Strength Quality Parameter of the Interference Fit Joints. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) *Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_34
7. Кругляк, І.В. & Середа, Б.П. (2022). Моделювання та оптимізація отримання зносостійких покриттів з використанням технології ECD. *Математичне моделювання*. 49-56. [https://doi.org/10.31319/2519-8106.2\(47\)2022.268383](https://doi.org/10.31319/2519-8106.2(47)2022.268383)
8. Томашевський, О. О., & Балицька, Н. О. (2023). Особливості фрезерної обробки композитних матеріалів. Аналітичний огляд. *Технічна інженерія*, (1(91)), 92–100. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-92-100](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-92-100)
9. Радкевич, С. І., Глембоцька, Л. Є., Мельничук, П. П., & Кирилович, В. А. (2022). Конструктивне рішення торцевих фрез зі змінними непереточуваними пластинами для обробки плоских поверхонь деталей з чавунів. *Технічна інженерія*, (1(89)), 45–54. [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-45-54](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-45-54)
10. Чумак, А. О., Мельничук, Ю. О., Клименко, С. А., & Клименко, С. А. (2022). Особливості фінішної обробки робочих елементів різальних інструментів із полікристалічного кубічного нітриду бору групи BL. *Технічна інженерія*, (1(89)), 55–61. [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-55-61](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-55-61)
11. Коваленко, Я. П., & Мельничук, П. П. (2021). Практика використання різального інструменту з ПКНБ групи BL при обробці загартованих сталей. *Технічна інженерія*, (1(87)), 21–27. [https://doi.org/10.26642/ten-2021-1\(87\)-21-27](https://doi.org/10.26642/ten-2021-1(87)-21-27)
12. Тріщ Р., Грінченко Г., Катрич О., Яковлем М., Багаєв І., Мірошник Є. (2023). Застосуванням чуттєвої статистичної характеристики для оцінювання якості в машинобудуванні. *Машинобудування*, (32), с. 46-54. <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-32-46-54>
13. Yeryganov, O., Gunchenko, V., & Glebov, V. (2024). Calculation of crank mechanism geometric dimensions according to the results of performance diagram. *Transport Development*, (2(21)), 28-34. <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.03>
14. Kovalevskyy, S., Kovalevska, O., & Kovalenko, O. (2023). Вплив широкосмугових мікроамплітудних вібрацій на процес штампування. *Обробка матеріалів тиском*, (1(52)), 118-125. [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2023-1\(52\)118](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2023-1(52)118)
15. Роп'як Л., Шовкопляс М., Витвицький В. (2021). Визначення припуску на обробку деталей з хромованим покриттям. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, 26(2), 117-127. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.242339>
16. Hrinchenko, H., Trishch, R., Kniazieva, V., Antonenko, N. (2024). Improvement of the Assembly Technology Quality by Determining the Closing Link Size Under Thermal Stress. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Piteř, J. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61797-3_31
17. Грінченко Г.С., Козлов М.С., Марченко О.О., Захаров С.О., Герасимов Є.В., Теслов О.А. (2023). Підвищення якості технології складання шляхом визначення величини замикаючої ланки в умовах термовпливу. *Машинобудування*, (32), с. 5-13. <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-32-5-13>

Стаття надійшла для редакції 18.10.2024

Стаття рекомендована до друку 22.11.2024

¹ **HRINCHENKO H., Ph.D.,**

Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
mail: h.s.hrinchenko@karazin.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6498-6142>

¹ **HRINCHENKO V.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: greenchenko1234@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5721-9175>

¹ **KOZLOV M.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: max_kozlov98@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8954-268X>

¹ **HERASYMOV Y.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: zluger@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4026-2796>

¹ **ZAKHAROV S.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: zaharov.lex@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8192-9126>

² **TESLOV O.,**

Postgraduate student of the Department of Mechatronics and Electrical Engineering
e-mail: trich_@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3673-9117>

¹*V.N. Karazin Kharkiv National University*

Svobody square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

²*National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"*

17 Vadyrna Manka st., Kharkiv, 61070, Ukraine

ASSESSMENT OF MACHINING QUALITY BY DETERMINING THE LAW OF ACCURACY DISTRIBUTION

The article proposes a methodology for assessing the quality of machined parts by determining the distribution law of the accuracy of the actual dimensions of parts. Knowledge of the law of distribution of random variables of scattering of actual dimensions of parts after machining is important, as it makes it possible to control quality by small samples. It is proposed that Pearson curves be used to determine the distribution law. The hypothesis that the distribution laws correspond to certain accuracy qualifications has been tested in mass experiments. It is proposed that Pearson's curves be used to determine the distribution law of actual dimensions after machining. The formulas and methods for determining skewness and kurtosis coefficients from empirical values are presented. The analysis carried out using mass experiments confirmed that with rough machining methods, the distribution law of the actual dimensions of parts is close to normal, and with precision machining methods - to Simpson's law and equal probability. For the equal probability distribution, the skewness square is 0, and the kurtosis is 1.8. For the Simpson distribution, the skewness square is 0, and the kurtosis is 2.4.

KEYWORDS: *quality of technology, precision, machining, small samples*

In cites: Hrinchenko H., Hrinchenko V., Kozlov M., Herasymov Y., Zakharov S., Teslov O., (2024). Assessment of the quality of mechanical processing by determining the accuracy distribution law. *Engineering*, (34), 31-38. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-03> (in Ukraine)

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication.

Referenses:

1. Kalchenko, VV, Sira, NM, Kalchenko, DV & Aksonova, OO 2021, [Research into the process of milling cylindrical surfaces with crossed tool and shaft axes.], *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, № 4(14), Pp. 018–027. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4\(14\)-18-27](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4(14)-18-27)
2. Burdeina, VM, Hrinchenko, HS, Artiukh, SM & Trishch, AR 2021, [Estimation of accuracy of coordinated small diameter holes with cutting tool direction], *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya: *Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, № 2, Pp. 9–14. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.02.02>

3. Hrinchenko, HS, Teslov, O, Kozlov, MS, Marchenko, OO, Zakharov, SO & Herasymov, YeV 2022, [Design algorithm of systems for automatic control of mechanical processing accuracy on CNC machines], *Engineering*, № 29, Pp. 50-61. DOI: [10.32820/2079-1747-2022-29-50-61](https://doi.org/10.32820/2079-1747-2022-29-50-61)
4. Ciszak, O & Kolos, VO 2024, 'Intensification of the technological process of processing bracket-type details', *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 1 (55), Pp. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.14>
5. Pukhovskiy, ES, Prykhodko, VP & Gladsky, MM 2023, 'Processing of large-sized parts of hydro pressing and mining equipment', *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, № 1 (51), Pp. 66-74. DOI: <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.11>
6. Kupriyanov, O, Trishch, R, Dichev, D & Hrinchenko, H 2024, 'Experimental Studies on the Form Error Effect of the Part Mounting Surface on the Strength Quality Parameter of the Interference Fit Joints' *Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_34
7. Kruhliak, IV & Sereda, BP 2022, [Modeling and optimization of wear-resistant coatings production using ecd technology], *Matematychni modeliuvannia*, Pp. 49-56. DOI: 10.31319/2519-8106.2(47)2022.268383.
8. Tomashevskiy, OO & Balytska, NO 2023, [Features of milling composites. Analytical reviewanalytical review], *Tekhnichna inzheneriia*, № 1(91), Pp. 92–100. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-92-100](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-92-100)
9. Radkevych, SI, Hlembotska, LYe, Melnychuk, PP & Kyrylovych, VA 2022, [Design solution of end mills with replaceable non-sharpened plates for processing flat surfaces of cast iron parts], *Tekhnichna inzheneriia*, № 1(89), Pp. 45–54. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-45-54](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-45-54)
10. Chumak, AO, Melniichuk, YuO, Klymenko, SA & Klymenko, SA 2022, [Peculiarities of finishing working elements of cutting tools made of polycrystalline cubic boron nitride of BL group], *Tekhnichna inzheneriia*, № 1(89), Pp. 55–61. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-55-61](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-55-61)
11. Kovalenko, YaP & Melnychuk, PP 2021, [The practice of using a cutting tool with PCNB group BL in the processing of hardened steels], *Tekhnichna inzheneriia*, № 1(87), Pp. 21–27. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2021-1\(87\)-21-27](https://doi.org/10.26642/ten-2021-1(87)-21-27)
12. Trishch, R, Hrinchenko, H, Katrych, O, Yakovlem, M, Bahaiev, I & Miroshnyk, Ye 2023, [Application of a sensory statistical characteristic for quality assessment in mechanical engineering], *Engineering*, iss. 32, Pp. 46-54. DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-32-46-54>
13. Yeryganov, O, Gunchenko, V & Glebov, V 2024, 'Calculation of crank mechanism geometric dimensions according to the results of performance diagram', *Transport Development*, № 2(21), Pp. 28-34. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.03>
14. Kovalevskiy, S, Kovalevska, O & Kovalenko, O 2023, [Influence of broadband micro-amplitude vibrations on the stamping process], *Obrobka materialiv tyskom*, № 1(52), Pp. 118-125. DOI: [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2023-1\(52\)118](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2023-1(52)118)
15. Ropiak, L, Shovkoplias, M & Vytvytskyi, V 2021, [Determination of machining allowance for parts with chrome coatings], *Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu*, № 26(2), Pp. 117-127. DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.242339>
16. Hrinchenko, H, Trishch, R, Kniazieva, V & Antonenko, N 2024, 'Improvement of the Assembly Technology Quality by Determining the Closing Link Size Under Thermal Stress' *Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham*, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-61797-3_31
17. Hrinchenko, HS et al 2023, ["Improving the quality of assembly technology by determining the size of the closing link under thermal stress"], *Engineering*, iss. 32, Pp. 5-13. DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-32-5-13>

The article was received by the editors 10/18/2024

The article is recommended for printing 11/22/2024