

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-35-04>
УДК 519.2:658.562

¹**К. О. ЛОМАНОВ,**

аспірант кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики
e-mail: klomanov0320@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7124-7607>

²**М. О. ГОЛОВКО,**

аспірант кафедри мехатроніки та електротехніки
e-mail: m.o.holovko@khai.edu ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1738-9112>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

²Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
вулиця Вадима Манька, 17, м. Харків, 61070, Україна.

СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ОБМЕЖЕНІЙ КІЛЬКОСТІ ІНФОРМАЦІЇ

У статті розглянуто питання підвищення ефективності управління якістю механічної обробки машинобудівної продукції у малосерійному виробництві. Основну увагу приділено застосуванню статистичних методів контролю, зокрема методу кумулятивних сум, як інструменту для діагностики точності технологічного процесу на токарних верстатах з числовим програмним керуванням. Обґрунтовано доцільність використання контрольних карт кумулятивних сум замість традиційних методів, що не враховують динаміку зміни параметрів у часі.

У межах дослідження проаналізовано результати механічної обробки фланця колінчастого вала зі сталі 20Х на верстаті 16К20Ф3. Було проведено 25 вибірок по 5 одиниць продукції для оцінювання відхилень розмірів від номінального значення та побудови відповідних кумулятивних кривих. На основі експериментальних даних побудовано графіки зміни кумулятивних сум, а також запропоновано еталонну карту для використання на виробництві. Встановлено чіткий зв'язок між нахилом кривої кумулятивних сум і рівнем якості процесу механічної обробки: горизонтальна крива відповідає задовільному стану, спадна — поганий якості, а висхідна — високій якості.

Запропоновано математичний апарат для розрахунку комплексного показника якості механічної обробки з урахуванням вагомості окремих показників якості (точності, шорсткості, просторових відхилень тощо). Встановлено, що цей комплексний показник перебуває в кореляції з рівнем технологічного процесу і може бути ефективним критерієм його оцінки.

Результати дослідження можуть бути застосовані для оперативного контролю та покращення якості у виробництві малих партій машинобудівної продукції, що особливо актуально для умов дрібносерійного та багатомономенклатурного виробництва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: оцінювання якості, статистичні методи, обмежена кількість інформації, кваліметрія, технологічний процес.

Як цитувати: Ломанов К. О., Головка М. О. Статистичні методи оцінювання якості технологічних процесів при обмеженій кількості інформації. *Машинобудування*. 2025. Вип. 35. С. 36-45.

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-35-04>



Вступ

Якість продукції (включно з новизною, технічним рівнем, відсутністю дефектів у виконанні, надійністю в експлуатації) є одним із найважливіших засобів конкурентної боротьби, завоювання й утримання позицій на ринку. Тому організації приділяють особливу увагу забезпеченню високої якості продукції, встановлюючи контроль на всіх стадіях виробничого процесу, починаючи з контролю якості сировини і матеріалів, що використовуються, та закінчуючи визначенням відповідності випущеного продукту технічним характеристикам і параметрам не тільки під час його випробувань, а й у процесі експлуатації, а для складних видів устаткування - з наданням визначеного гарантійного терміну після встановлення устаткування на підприємстві замовника. Тому управління якістю продукції стало основною частиною виробничого процесу і спрямоване не стільки на виявлення дефектів або браку в готовій продукції, скільки на контроль якості виробу в процесі його виготовлення.

Якість технологічного процесу характеризується багатьма показниками, з яких основними є: точність, продуктивність, надійність. Нова модель верстата піддається цілому ряду випробувань, мета яких полягає у визначенні його якісних характеристик. За результатами випробувань оцінюється якість і технічний рівень верстата шляхом зіставлення отриманих величин із величинами, встановленими на основі вимог споживача до якості оброблених на верстаті деталей і продуктивності обробки.

Кожен тип металорізальних верстатів характеризується своєю номенклатурою показників геометричної точності. Нині вони регламентуються в багатьох нормативних документах на норми точності. Усі чинні нині в Україні та за кордоном стандарти на норми точності металорізальних верстатів побудовані за однаковою схемою і ґрунтуються на фундаментальних роботах багатьох науковців. Спільним їхнім недоліком є те, що регламентовані в них показники геометричної точності верстата не дають прямого уявлення про можливі похибки форми і взаємного розташування поверхонь деталі, оброблюваної на цьому верстаті.

Система перевірки точності верстатів загалом поки що не зазнала помітних змін. Однак у деяких роботах вказується на наявність нового підходу до проведення перевірок. Обмежується кількість перевірок, причому майже повністю виключаються перевірки точності окремих деталей і вузлів верстатів. Спостерігається тенденція до заміни поелементних перевірок перевіркою результуючої точності верстата за точністю обробленої деталі.

Особливо актуальним є розроблення методики оперативної діагностики точності виготовлення машинобудівної продукції в умовах дрібносерійного, багатомоделного виробництва, що характеризується невеликими партіями.

Метою цієї роботи є розробка статистичних методів діагностики точності токарних верстатів із ЧПУ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Управління якістю продукції машинобудування, зокрема забезпечення точності механічної обробки на металорізальних верстатах, є актуальною темою сучасної наукової думки. Зростаюча складність конструкцій та високі вимоги до точності обумовлюють потребу в нових підходах до контролю якості та оптимізації технологічних процесів.

У наукових працях [1-3] висвітлено значення точності обробки та її вплив на

загальну якість виробу. У роботі [4] розглянуто концепцію "індустрії 4.0" та її вплив на точність і якість у машинобудуванні. Впровадження адаптивних систем керування та моніторингу верстатів дозволяє значно знизити похибки виготовлення [5, 6].

Останні дослідження [7-10] акцентують увагу на ролі штучного інтелекту та машинного навчання у прогнозуванні відхилень у процесах

обробки. Зокрема, в роботі [8] запропоновано використання нейронних мереж для моделювання похибок обробки, що дозволяє досягти більш стабільних результатів. У публікації [10] йдеться про застосування цифрових двійників у віртуальному моделюванні процесів шліфування.

Окрему увагу привертають праці, присвячені метрологічному забезпеченню виробництва. У [11, 12] аналізуються методи контролю геометричних параметрів деталей на різних етапах виробничого циклу. Також в роботах [13–15] розглянуто методики підвищення достовірності вимірювань і зменшення впливу похибок системи керування.

Суттєвий внесок у розвиток тематики зроблено дослідниками, що працюють у сфері статистичного управління якістю. Наприклад, у [16] описано застосування методів багатовимірної статистики до оцінки стабільності процесів виготовлення. Публікації [17, 18] висвітлюють проблеми автоматизованого збору даних у цехових умовах для побудови систем підтримки прийняття рішень.

Останні дослідження у сфері

управління якістю механічної обробки, особливо в умовах малосерійного виробництва, демонструють активне впровадження статистичних методів контролю, таких як контрольні карти кумулятивних сум (CUSUM) [19], а також інтеграцію сучасних технологій, включаючи штучний інтелект та цифрові двійники.

Контрольні карти CUSUM залишаються ефективним інструментом для виявлення незначних змін у процесах. Дослідники [20] запропонували багатовимірну CUSUM-карту для композиційних даних, що демонструє покращену чутливість до змін у процесі. Автори наукової праці [21] дослідили ефективність CUSUM-карт для моніторингу часу між подіями, розподіленими за Вейбуллом, що є актуальним для оцінки надійності обладнання.

Таким чином, аналіз наукової літератури свідчить про існування кількох провідних напрямів досліджень: інтелектуалізація виробництва, підвищення точності за рахунок адаптивних методів, цифровізація систем контролю та вимірювань, а також широке впровадження стандартів якості.

Виклад основного матеріалу

Одним зі статистичних методів контролю якості технологічних процесів є контрольні карти. Загальноприйнята методика побудови контрольних карт має таку особливість - проведений контроль не враховує попередньої динаміки контролюваного параметра. Через це з'явилися спроби розробити новий підхід, який би включав аналіз минулих даних для оцінки поточного стану процесу. В основі цієї методики лежить дослідження не індивідуальних значень ознаки, а облік їхніх кумулятивних сум. Карта кумулятивних сум дозволяє порівняти виявлені візуальні зміни з реальними зрушеннями у виробничому

процесі, виконуючи таким чином діагностичну функцію.

Об'єктом дослідження виступав процес оцінювання якості фланець колінчастого вала, виготовлений зі сталі 20Х. Обробку проводили на токарно-гвинторізнному верстаті з ЧПУ 16К20Ф3. Розглянемо застосування кумулятивних карт для діагностики токарної чорнової обробки.

Під час контролю точності лезової обробки щоденно фіксували відхилення від номінальних розмірів на основі 25 вибірок, кожна з яких містила $n = 5$ одиниць продукції. Результати вимірювань для однієї поверхні представлені в таблицях 1-2.

Таблиця 1

Данні за середнім відхиленням при обробці Ø 55_{-0,46}

Table 1

Data on the average deviation at machining Ø 55_{-0,46}

Номер вибірки	Середнє значення відхилення, мм				
1-5	-0,200	-0,380	-0,224	-0,098	-0,080
6-10	-0,334	-0,166	-0,442	-0,356	-0,008
11-15	-0,407	-0,195	-0,281	-0,191	-0,455
16-20	-0,275	-0,316	-0,200	-0,054	-0,050
21-25	-0,181	-0,418	-0,066	-0,171	-0,347

Таблиця 2

Значення кумулятивних сум при обробці Ø 55_{-0,46}

Table 2

Values of cumulative sums at machining Ø 55_{-0,46}

Номер вибірки	Кумулятивна сума відхилень				
1-5	-0,093	-0,007	-0,076	-0,272	-0,485
6-10	-0,445	-0,572	-0,423	-0,361	-0,646
11-15	-0,533	-0,631	-0,644	-0,746	-0,585
16-20	-0,603	-0,580	-0,674	-0,913	-1,157
21-25	-1,269	-1,145	-1,372	-1,494	-1,441

Як еталонну величину k значення кумулятивних сум, розраховані за результатами вибірок, приймемо комплексний показник якості K_0 . Метод комплексної оцінки характеризує зв'язок між одиничними показниками якості продукції і дає можливість об'єднання одиничних показників у комплексний. При цьому продукція вищої якості має більше (або менше) значення комплексного показника.

У даній роботі комплексний показник якості визначається з використанням середньозважених показників за формулою

$$K_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^m (M_i q_i^2)}. \quad (1)$$

де M_i - коефіцієнт вагомості; q_i - відносний показник.

Математична залежність відносних показників якості від абсолютних виражається залежністю

$$q_i = \exp\left(-|P_0|^m\right), \quad (2)$$

де m – додатне число, $0 < m < \infty$; P_0 - лінійна функція від P_i .

$$P_0 = \frac{2P_i - (P_i^{\max} + P_i^{\min})}{P_i^{\max} - P_i^{\min}}. \quad (3)$$

де $P_i^{\min}$, $P_i^{\max}$ - відповідно нижня і верхня межі значень i -го показника якості, передбачені технічними умовами.

Показники якості, що визначають якість продукції, не рівнозначні за своєю важливістю. Тому важливим є визначення коефіцієнтів вагомості. Коефіцієнти вагомості для середнього зваженого степеневого (квадратичного) показника розраховують за залежністю

$$M_i = \frac{\lambda}{\frac{P_i - \tilde{P}_i}{\tilde{P}_i}}, \quad (4)$$

де $\tilde{P}_i$ - номінальне (середнє статистичне) значення показника якості; $\tilde{P}_i$ - граничне значення для показника якості; λ - постійний множник.

Експерименти проводили під час обробки за груповим технологічним процесом. Розглядали такі параметри

якості, як точність, шорсткість, просторові відхилення, глибина і ступінь наклепу, внутрішні напруги.

У таблиці 3 наведено показники вагомості для досліджуваного технологічного процесу. Де W_0 - заготовка; W_1 - токарна чорнова обробка; W_2 - токарна чистова обробка; W_3 - протяжна операція; W_4 - свердлильна; W_5 - термічна обробка.

Розрахунок комплексного показника якості K_0 для всіх поверхонь, що обробляються, подано в таблиці 4. Де $K_{\text{зап}}$ - коефіцієнт запасу точності.

Крива кумулятивних сум, побудована за даними таблиці 2, представлена на рисунку 1. На наведеному рисунку кут нахилу кумулятивної лінії в 30° відповідає

запасу точності $K_{\text{зап}} = 1,33$.

На рисунку 2 представлено лінії кумулятивних сум і трендів для технологічних процесів різної налаштованості. З рисунку видно, що погано налаштований технологічний процес ($K_{\text{зап}}=1,33$) має спадний тренд. Задовільно налаштований технологічний процес ($K_{\text{зап}} = 1,00$) має горизонтальний тренд. Технологічний процес, що забезпечує бездефектне виробництво ($K_{\text{зап}} = 0,5$), має висхідну тенденцію.

На підставі цих даних було розроблено еталонну карту кумулятивних сум (рисунк 3), яку можна використовувати безпосередньо на робочих місцях.

Таблиця 3

Вагові компоненти для операцій механічної обробки

Table 3

Weight components for machining operations

Параметри	Ваги головних компонентів						Дисперсія
	W_0	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	
Точність (X_1)	0,8826	0,0452	0,2257	0,2280	-0,0388	0,2435	0,99
Шорсткість (X_2)	0,1486	-0,8071	-0,3157	0,3931	-0,0410	-0,0258	0,99
Просторові відхилення (X_3)	0,2785	-0,7884	0,3396	-0,4738	0,1154	0,1329	1,00
Глибина наклепу (X_4)	0,8394	0,1065	0,1004	0,0161	-0,5058	0,1332	0,99
Ступінь наклепу (X_5)	0,5899	0,1538	0,6741	0,3554	0,2105	-0,0568	0,99
Внутрішні напруги (X_6)	0,7682	0,2594	-0,4302	0,0223	0,3125	0,3384	0,99
Дисперсія	2,5215	1,9770	0,9150	0,5580	0,4140	0,213	6,00
Відсотки	42,02	22,95	15,25	9,3	6,9	3,55	100

Таблиця 4

Визначення комплексного показника якості

Table 4

Determination of a comprehensive quality indicator

Оброблювана поверхня	P_{max}	P_{min}	P_i	P_0	q_i	M_i	K_0	$K_{\text{зап}}$
$\varnothing 55_{-0,46}$	0,455	0,008	0,46	1,0224	-2,76	0,0452	0,5869	1,006
$\varnothing 52,6_{-0,3}$	0,3	0,011	0,3	1	-2,7	0,0452	0,574	1,036
$\varnothing 30_{+0,33}$	0,325	0,003	0,33	1,0311	-2,784	0,0452	0,5919	1,093
L 19 _{-0,43}	0,426	0,013	0,43	1,0194	-2,752	0,0452	0,5851	1,02
L 68 _{-0,74}	0,703	0,001	0,74	1,1054	-2,985	0,0452	0,6345	0,951



Рис. 1 – Вигляд кривої кумулятивних сум при обробці $\text{Ø } 55_{-0,46}$
Fig. 1 – View of the cumulative sums curve during machining $\text{Ø } 55_{-0,46}$

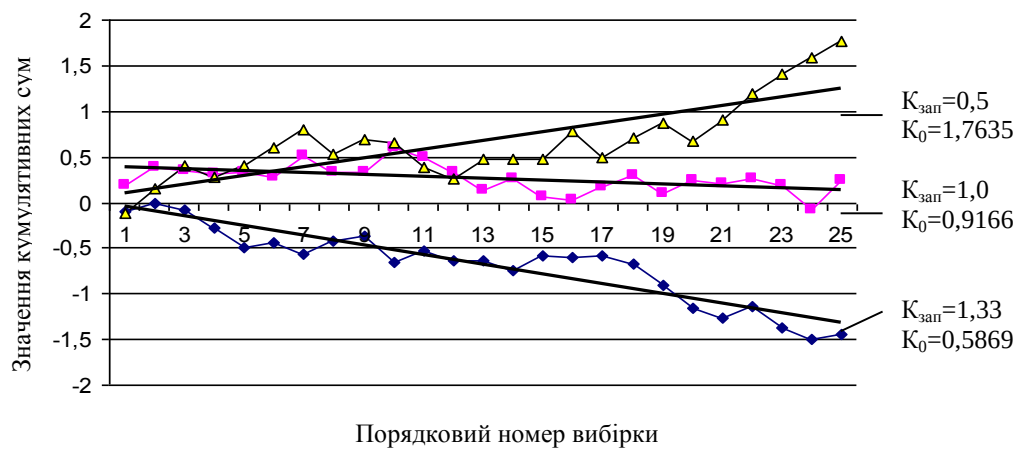


Рис. 2 – Вигляд кривої кумулятивних сум при обробці $\text{Ø } 55_{-0,46}$ різної налаштованості
Fig. 2 – View of the cumulative sums curve during machining $\text{Ø } 55_{-0,46}$ different settings

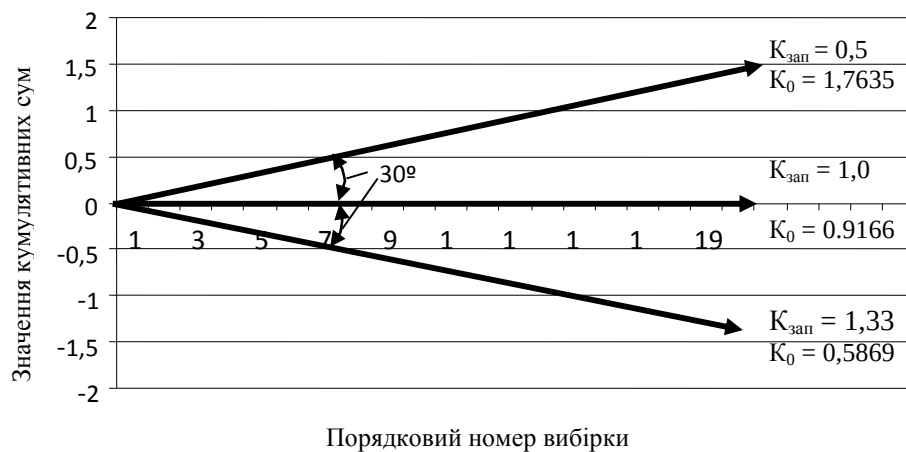


Рис. 3 – Вид еталонної карти кумулятивних сум
Fig. 3 – View of the standard map of cumulative sums

В результаті апробації запропонованої методики для розрахунку комплексного показника якості механічної обробки з урахуванням вагомості окремих показників якості (точності, шорсткості, просторових відхилень тощо) встановлено, що цей комплексний показник перебуває в кореляції з рівнем технологічного

процесу і може бути ефективним критерієм його оцінки. Результати дослідження можуть бути застосовані для оперативного контролю та покращення якості у виробництві малих партій машинобудівної продукції, що особливо актуально для умов дрібносерійного та багатомоделного виробництва.

Висновки

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Застосування контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM) суттєво підвищує ефективність діагностики технологічного процесу в малосерійному виробництві. Метод CUSUM дозволяє враховувати динаміку змін параметрів обробки в часі, на відміну від традиційних статистичних методів. Це дає змогу швидко виявляти відхилення від номінальних значень і оперативно реагувати на зниження якості продукції.

2. Встановлено наочну залежність між нахилом графіка кумулятивних сум і станом

якості процесу: горизонтальна лінія — стабільна, задовільна якість; висхідна крива — покращення якості; нисхідна крива — погіршення якості. Це спрощує візуальний контроль і дозволяє інженерам оперативно приймати рішення щодо корекції процесу.

3. Запропонований комплексний показник якості, що враховує вагомість різних параметрів (точність, шорсткість, відхилення тощо), може бути ефективним критерієм оцінки рівня технологічного процесу. Його використання забезпечує об'єктивну, багатофакторну оцінку якості обробки і дозволяє адаптувати підхід до різних типів операцій у машинобудуванні.

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. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management / Takata S., Kirnura F., F.J.A.M. van Houten, Westkamper, E., Shpitalni M., Ceglarek D., Lee J. *CIRP Annals*. 2004. №53 (2). P. 643–655. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)60033-x](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)60033-x).
2. Mathematic Model of the General Approach to Tolerance Control in Quality Assessment / Kupriyanov O., Trishch R., Dichev D., Bondarenko T. *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2022. P. 415–423. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_41
3. Accuracy evaluation of flat surfaces measurements in conditions of external influences / Dichev D., Diakov D., Zhelezarov Y., Nikolova H., Kupriyanov O., Dicheva, R. *Proceedings of 2022 XXXII international scientific symposium “Metrology and Metrology assurance” (MMA)*. (September 2022). 2022. P. 1-7. DOI: 10.1109/MMA55579.2022.9992334
4. Oztemel, E., Gursev S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2020. № 31. P. 127–182. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
5. Supervision of Milling Tool Inserts using Conventional and Artificial Intelligence Approach: A Review / Dhobale N., Mulik S., Jegadeeshwaran R., Patange A. *Sound & Vibration*. 2021. № 55(2). P. 87–116. DOI: <https://doi.org/10.32604/sv.2021.014224>
6. Nasir V., Sassani F. A review on deep learning in machining and tool monitoring: Methods, opportunities, and challenges. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. № 115. P. 2683–2709. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07325-7>
7. Ko J. H., Yin C. A review of artificial intelligence application for machining surface quality prediction: From key factors to model development. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-025-02571-y>
8. Machine-Learning- and Internet-of-Things-Driven Techniques for Monitoring Tool Wear in Machining Process: A Comprehensive Review / Kasiviswanathan S., Gnanasekaran S., Thangamuthu M., Rakkiyannan J. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2024. № 13(5):53. DOI: <https://doi.org/10.3390/jsan13050053>.

9. Tool condition monitoring techniques in milling process-a review / Mohanraj T., Shankar S., Rajasekar R., Sakthivel N. R., Pramanik A. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. № 9(1). P. 1032–1042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.031>
10. Digital twin modeling for loaded contact pattern-based grinding of spiral bevel gears / Rong K., Ding H., Kong X., Huang R., Tang J. *Advanced Engineering Informatics*. 2021. № 49. 101305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101305>
11. Топчий Н. В. Методи та сучасні засоби контролю механічних деталей на виробництві. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. 2024. Т. 35 (74). № 6. С. 30-34. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.1/06>
12. Підвищення якості контролю параметрів деталей при виготовленні та ремонті автомобілів / Кальченко В., Венжега В., Пасов Г., Кологойда А., Кужельний Я., Богославський В. *Технічні науки та технології*. 2024. № 1(35). С. 9-17. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-9-17](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-9-17)
13. Vasilevskyi O. Assessing the level of confidence for expressing extended uncertainty through control errors on the example of a model of a means of measuring ion activity. *Acta IMEKO*. 2021. № 10 (2). P. 199-203. DOI: https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i2.810
14. Vasilevskyi O., Koval M., Kravets S. Indicators of reproducibility and suitability for assessing the quality of production services. *Acta IMEKO*. 2021. № 10 (4). P. 54-61. DOI: https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i4.814
15. Імплементация вимог міжнародних стандартів щодо невизначеності вимірювань в метрологічну діяльність підприємств / Р. М. Триш, О. М. Черняк, С. М. Артюх, В. М. Бурдейна, Г. С. Грінченко. *Машинобудування*. 2021. № 27. С. 117–124. DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2021-27-117-124>
16. Sanchez-Marquez R., José Manuel Jabaloyes Vivas. Multivariate SPC methods for controlling manufacturing processes using predictive models – A case study in the automotive sector. *Computers in Industry*. 2020. № 123. 103307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103307>
17. A framework for data-driven decision making in advanced manufacturing systems. / Ojha V. K., Goyal S., Chand M., Kumar A. *Development and implementation. Concurrent Engineering*. 2024. № 32(1-4). P. 58-77. DOI: [10.1177/1063293X241297528](https://doi.org/10.1177/1063293X241297528)
18. Sankhye S., Hu G. Machine Learning Methods for Quality Prediction in Production. *Logistics*. 2020. № 4(4):35. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics4040035>
19. Haq A., Munir W. Improved CUSUM charts for monitoring process mean. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 2018. № 88 (9). P. 1684–1701. DOI: <https://doi.org/10.1080/00949655.2018.1444040>
20. Multivariate cumulative sum control chart for compositional data with known and estimated process parameters / Imran M., Sun J., Zaidi F. S., Abbas Z., Nazir H. Z. *Quality and Reliability Engineering International*. 2022. № 38 (5). P. 2691–2714. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.3099>
21. Cumulative Sum Control Charts for Monitoring Weibull-distributed Time Between Events / Shafae M. S., Dickinson R. M., Woodall W. H., Camelio J. A. *Quality and Reliability Engineering International*. 2015. № 31 (5). P. 839–849. DOI: [10.1002/qre.1643](https://doi.org/10.1002/qre.1643)

Стаття надійшла для редакції 15.05.2025

Стаття рекомендована до друку 17.06.2025

¹**LOMANOV K.,**

Postgraduate student of the Department of Information Computer Technologies and Mathematics

e-mail: klomanov0320@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7124-7607>

²**HOLOVKO M.,**

Postgraduate student of the Department of Mechatronics and Electrical Engineering

e-mail: m.o.holovko@khai.edu

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1738-9112>

¹V. N. Karazin Kharkiv National University

Svobody square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

²National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"

Vadym Manko str. 17, Kharkiv, 61070, Ukraine

STATISTICAL METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES WITH LIMITED INFORMATION

The article discusses the issue of improving the efficiency of quality management in the mechanical processing of machine-building products in small-batch production. The main focus is on the application of statistical control methods, in particular the cumulative sum method, as a tool for diagnosing the accuracy of the technological process on numerically controlled lathes. The feasibility of using cumulative sum control charts instead of traditional methods that do not take into account the dynamics of parameter changes over time is justified.

The study analysed the results of mechanical processing of a crankshaft flange made of 20X steel on a 16K20F3 machine. Twenty-five samples of five products each were taken to assess deviations from the nominal value and construct the corresponding cumulative curves. Based on the experimental data, graphs of cumulative sums were

constructed, and a reference chart for use in production was proposed. A clear relationship was established between the slope of the cumulative sum curve and the quality level of the machining process: a horizontal curve corresponds to a satisfactory state, a downward curve corresponds to poor quality, and an upward curve corresponds to high quality.

A mathematical apparatus is proposed for calculating a comprehensive indicator of machining quality, taking into account the weight of individual quality indicators (accuracy, roughness, spatial deviations, etc.). It has been established that this comprehensive indicator correlates with the level of the technological process and can be an effective criterion for its assessment.

The results of the study can be used for operational control and quality improvement in the production of small batches of machine-building products, which is especially relevant for small-batch and multi-product production.

KEYWORDS: *quality assessment, statistical methods, limited information, qualimetry, technological process.*

In cites: Lomanov K., Holovko M., (2025), Statistical methods for assessing the quality of technological processes with limited information. *Engineering*, (35), 36-45. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-35-04> (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.

References:

1. Takata, S, Kimura, F, van Houten, FJAM, Westkamper, E, Shpitalni, M, Ceglarek, D & Lee, J 2004, 'Maintenance: Changing role in life cycle management', *CIRP Annals*, 53(2), pp. 643–655. doi: [10.1016/s0007-8506\(07\)60033-x](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)60033-x).
2. Kupriyanov, O, Trishch, R, Dichev, D & Bondarenko, T 2022, 'Mathematic model of the general approach to tolerance control in quality assessment', *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham: Springer, pp. 415–423. doi: [10.1007/978-3-030-91327-4_41](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_41).
3. Dichev, D, Diakov, D, Zhelezarov, Y, Nikolova, H, Kupriyanov, O & Dicheva, R 2022, 'Accuracy evaluation of flat surfaces measurements in conditions of external influences', in *Proceedings of 2022 XXXII International Scientific Symposium "Metrology and Metrology Assurance" (MMA)* (September 2022), pp. 1–7. doi: 10.1109/MMA55579.2022.9992334.
4. Oztemel, E & Gursev, S 2020, 'Literature review of Industry 4.0 and related technologies', *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, pp. 127–182. doi: [10.1007/s10845-018-1433-8](https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8).
5. Dhobale, N, Mulik, S, Jegadeeshwaran, R & Patange, A 2021, 'Supervision of milling tool inserts using conventional and artificial intelligence approach: a review', *Sound & Vibration*, 55(2), pp. 87–116. doi: [10.32604/sv.2021.014224](https://doi.org/10.32604/sv.2021.014224).
6. Nasir, V & Sassani, F 2021, 'A review on deep learning in machining and tool monitoring: methods, opportunities, and challenges', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115, pp. 2683–2709. doi: [10.1007/s00170-021-07325-7](https://doi.org/10.1007/s00170-021-07325-7).
7. Ko, JH & Yin, C 2025, 'A review of artificial intelligence application for machining surface quality prediction: from key factors to model development', *Journal of Intelligent Manufacturing*. doi: [10.1007/s10845-025-02571-y](https://doi.org/10.1007/s10845-025-02571-y).
8. Kasiviswanathan, S, Gnanasekaran, S, Thangamuthu, M & Rakkiyannan, J 2024, 'Machine-learning- and Internet-of-Things-driven techniques for monitoring tool wear in machining process: a comprehensive review', *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(5), p. 53. doi: [10.3390/jsan13050053](https://doi.org/10.3390/jsan13050053).
9. Mohanraj, T, Shankar, S, Rajasekar, R, Sakthivel, NR & Pramanik, A 2020, 'Tool condition monitoring techniques in milling process—a review', *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1), pp. 1032–1042. doi: [10.1016/j.jmrt.2019.10.031](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.031).
10. Rong, K, Ding, H, Kong, X, Huang, R & Tang, J 2021, 'Digital twin modeling for loaded contact pattern-based grinding of spiral bevel gears', *Advanced Engineering Informatics*, 49, p. 101305. doi: [10.1016/j.aei.2021.101305](https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101305).
11. Topchii, NV 2024, 'Methods and modern means of controlling mechanical parts in production', *Scientific Journal "Notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series: Technical Sciences"*, 35(74), 6, pp. 30–34. doi: [10.32782/2663-5941/2024.6.1/06](https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.1/06). (in Ukraine)
12. Kalchenko, V, Venzhega, V, Pasov, H, Kolohoida, A, Kuzhelnyi, Ya. & Bogoslavskij, V 2024, 'Improving the quality of the control of parts parameters in the manufacture and repair of vehicles', *Technical sciences and technologies*, 1(35), pp. 9–17. doi: [10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-9-17](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-9-17). (in Ukraine)
13. Vasilevskiy, O 2021, 'Assessing the level of confidence for expressing extended uncertainty through control errors on the example of a model of a means of measuring ion activity', *Acta IMEKO*, 10(2), pp. 199–203. doi: [10.21014/acta_imeko.v10i2.810](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i2.810).
14. Vasilevskiy, O, Koval, M & Kravets, S 2021, 'Indicators of reproducibility and suitability for assessing the quality of production services', *Acta IMEKO*, 10(4), pp. 54–61. doi: [10.21014/acta_imeko.v10i4.814](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i4.814). (in Ukraine)

15. Trishch, R, Cherniak, O, Artyukh, S, Burdeina, V & Hrinchenko, H 2021, 'Implementation of the requirements of international standards of measurement uncertainty in the metrological activities of enterprises', *Engineering*, 27, pp. 117–124. doi: [10.32820/2079-1747-2021-27-117-124](https://doi.org/10.32820/2079-1747-2021-27-117-124). (in Ukraine)
16. Sanchez-Marquez, R & Jabaloyes Vivas, JM 2020, 'Multivariate SPC methods for controlling manufacturing processes using predictive models – A case study in the automotive sector', *Computers in Industry*, 123, p. 103307. doi: [10.1016/j.compind.2020.103307](https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103307).
17. Ojha, VK, Goyal, S, Chand, M & Kumar, A 2024, 'A framework for data-driven decision making in advanced manufacturing systems: development and implementation', *Concurrent Engineering*, 32(1–4), pp. 58–77. doi: [10.1177/1063293X241297528](https://doi.org/10.1177/1063293X241297528).
18. Sankhye, S & Hu, G 2020, 'Machine learning methods for quality prediction in production', *Logistics*, 4(4), p. 35. doi: [10.3390/logistics4040035](https://doi.org/10.3390/logistics4040035).
19. Haq, A & Munir, W 2018, 'Improved CUSUM charts for monitoring process mean', *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 88(9), pp. 1684–1701. doi: [10.1080/00949655.2018.1444040](https://doi.org/10.1080/00949655.2018.1444040).
20. Imran, M, Sun, J, Zaidi, FS, Abbas, Z & Nazir, HZ 2022, 'Multivariate cumulative sum control chart for compositional data with known and estimated process parameters', *Quality and Reliability Engineering International*, 38(5), pp. 2691–2714. doi: [10.1002/qre.3099](https://doi.org/10.1002/qre.3099).
21. Shafae, MS, Dickinson, RM, Woodall, WH & Camelio, JA 2015, 'Cumulative sum control charts for monitoring Weibull-distributed time between events', *Quality and Reliability Engineering International*, 31(5), pp. 839–849. doi: [10.1002/qre.1643](https://doi.org/10.1002/qre.1643).

The article was received by the editors 05/15/2025

The article is recommended for printing 06/17/2024