

ГРАДАЦІЇ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ВИПРАВЛЕНОЇ ДИСПЕРСІЇ

©Ламнауер Н.Ю.¹, Пташний О.Д.²,

*Українська інженерно-педагогічна академія¹
Харківський національний автомобільно-дорожній університет²*

Інформація про авторів:

Ламнауер Наталія Юрївна: ORCID: 0000-0002-6779-8761; lamnaouernatali@gmail.com; доктор технічних наук; професор кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженернопедагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Пташний Олег Дмитрович: ORCID: 0000-0001-6123-7253; olegptashniy@gmail.com; кандидат педагогічних наук; доцент кафедри вищої математики; Харківський національний автомобільно-дорожній університет; вул. Я. Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна

Виробництво якісної продукції машинобудування забезпечуються якісними технологіями. Тому питання оцінки технологій є актуальним та потребує наукового розвитку. При виготовленні деталей машин одним з основним критеріїв якості є показник точності лінійного розміру. Від точності розміру виготовлених деталей залежить надійність та довговічність машин. Технології обробки можуть бути різними (різні верстати, різні режими та ін.). Це само по собі означає і різну якість отриманих деталей та, в свою чергу, різну вартість виробництва. Висока якість найчастіше супроводжується збільшенням витрат, що в умовах конкуренції на ринку є не завжди придатним для виробників продукції.

В залежності від потреб ринку стає необхідним використання саме тієї технології, що забезпечує потрібну якість. Створена раніше градація якості технологій, як інструмент оцінки, базується на використанні ймовірносно-статистичної моделі розподілу розмірів. Ця модель має параметри верхньої та нижньої границі розміру, його модальне значення, що виражено з використанням формули ділення відрізка в даному відношенні, та параметр форми.

З використанням графіків показано, що ця модель має три різні форми щільності розподілу при однаковому теоретичному розмаху значень розмірів та при однаковому числі проведених замірів розмірів деталей. По формі кривої щільності розподілу можна визначити якість технології по запропонованій градації.

Запропоновано розрахунок числових характеристики вибірки значень розмірів, а саме виправленої дисперсії, що є незміщеною оцінкою теоретичної дисперсії. За допомогою спостереження за зміною її значення можна оцінити якість технологічного процесу згідно запропонованій градації.

Запропоновані розрахункові формули дають змогу оцінити та спрогнозувати точність технологічного процесу та управляти якістю в машинобудуванні.

Ключові слова: точність, деталь, лінійний розмір, ймовірносно-статистична модель, виправлена дисперсія.

Lamnauer N., Ptashnyi O. «Grading the quality of manufacturing technologies of machine parts based on the assessment of the corrected variance»

Production of quality mechanical engineering products is ensured by quality technologies. Therefore, the issue of technology assessment is relevant and requires scientific development. When manufacturing machine parts, one of the main quality criteria is the accuracy of the linear size.

Reliability and durability of machines depend on the accuracy of the size of the parts produced. Processing technologies can be different (different machines, different modes, etc.). This in itself means different quality of the parts produced and, in turn, different prime cost of production. High quality tends to always be accompanied by increased costs, which in a competitive market is not always suitable for manufacturers.

Depending on the needs of the market, it becomes necessary to use exactly the technology that provides the desired quality. The previously created gradation of technology quality as an assessment tool is based on the use of probabilistic and statistical model of size distribution. This model has the parameters of the upper and lower limits of size, the modal value, which is expressed by the formula for dividing the segment, and the shape parameter.

Using graphs, it is shown that this model has three different forms of distribution density with the same theoretical range of size values and with the same number of measurements of part sizes. According to the graph of the distribution density, you can determine the quality of technology in accordance with the proposed gradation.

The calculation of numerical characteristics of the sample of size values, namely the corrected variance, which is an unbiased estimate of the theoretical variance, is proposed. By observing the change in its value, the quality of the technological process can be assessed according to the proposed gradation.

The proposed calculation formulas make it possible to assess and predict the accuracy of the technological process and manage quality in mechanical engineering.

Keywords: accuracy, machine parts, linear size, probabilistic and statistical model, corrected variance.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Будь-яка сфера сучасного людського життя не може обходитися без машин та механізмів. Тому приділення уваги до їх якості є актуальною задачею. Якість продукції машинобудування забезпечується технологіями. Виробнику необхідно контролювати наскільки обрана технологія забезпечує потрібну якість. Тому стає важливим створення інструментів оцінки технологій виготовлення деталей машин. Оцінка якості технологій проводиться по спостереженням за якістю отриманих виробів. Якість деталей характеризується багатьма факторами, кожен з яких впливає на надійність та довговічність машин. Одним з показників якості виробів деталей є точність лінійного розміру. Оцінити наскільки точність розміру відповідає номінальному та знаходиться у межах допуску можливо за допомогою спостереження за вибіркою отриманих деталей, що вироблені за допомогою визначеної технології. Важливим елементом, що використовується для контролю та аналізу якості технологічних процесів є ймовірно-статистичні моделі розподілу випадкових величин. В нашому випадку цією величиною виступає лінійний розмір деталі. Знаходження для цих моделей оцінок параметрів та числових характеристик дає можливість вирішувати питання аналізу якості технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Рішення задач, що пов'язані з знаходженням оптимального варіанту технології виготовлення виробів машинобудування, є важним аспектом в науковому напрямку розвитку машинобудування. Досягнення максимально можливої якості з мінімальними витратами є важною проблемою. Проблема забезпечення якості виробів турбує як вітчизняних так і закордонних виробників. Існує багато інструментів управління якістю. Так

в [1] розглянута взаємодія контролю та технічного обслуговування обладнання. Контроль якості, як один з інструментів якості виграє важливу роль для моніторингу, аналізу даних для виявлення та рішення проблем виробничих процесів. Такі питання розглянуті в [2-6]. Питання пов'язані з контролем якості на основі побудови контрольних карт розглянуто в [8].

Аналіз сучасних наукових джерел в галузі якості та ефективності машинобудівного виробництва довів, що будь-який інструмент для її досягнення повинен розглядатися в сукупності з мінімізацією витрат [7], в тому числі пов'язану з доцільністю застосованої технології. В [11] було запропоновано використання градації якості обробки за параметром лінійного розміру деталей, яка дає можливість аналізувати якість в залежності від застосованої технології. В [12] на основі градації технологій було запропоновано аналітичні вирази для знаходження значень дисперсії по кожного інтервалу якості для моделі з [9], з параметрами верхньої та нижньої границі розміру, модальним значенням та параметром форми.

Метою роботи є запропонування аналітичних виразів розрахунку виправленої дисперсії для моделі розподілу лінійних розмірів з [10], для ідентифікації інтервалів градації технологій за якістю (висока, середня та низька).

Виклад основного матеріалу

Для аналізу якості технологічного процесу виготовлення деталей за параметром точності лінійного розміру, а також вирішення питань її прогнозування, було введено поняття інтервалів якості [11]:

- 1) інтервал високої якості технологічного процесу обробки;
- 2) інтервал середньої якості;
- 3) інтервал низької якості.

Це поняття ідентифікується через різні форми кривих щільності розподілів випадкової величини – розмірів деталей, для загальної ймовірнісно-статистичної моделі [10]. Ця модель має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{(1+k) \left[1 - \left(\frac{x-b+q(x-c)}{q(b-c)} \right)^{1/k} \right]}{c-b}, & b \leq x \leq \frac{b+qc}{1+q}; \\ \frac{(1+k) \left[1 - \left(\frac{b-x+q(c-x)}{b-c} \right)^{1/k} \right]}{c-b}, & \frac{b+qc}{1+q} < x \leq c. \end{cases}, \quad (1)$$

де $q = (a-b)/(c-a)$ та $a = (b+cq)/(1+q)$ - модальне значення, b - нижня межа та c - верхня межа розміру, k - параметр форми розмірів.

Ця модель має три різні форми щільності розподілу при однаковому теоретичному розмаху - $c-b$ та при однаковому числі n - лінійних розмірів вироблених деталей.

Графіки щільності розподілу (1) представлені на рис. 1, рис.2, рис.3.

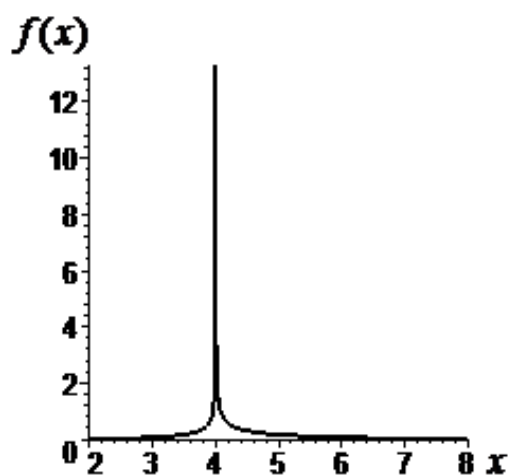


Рис. 1 – Графік щільності розподілу моделі (1) з параметрами $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$, для технології високої якості

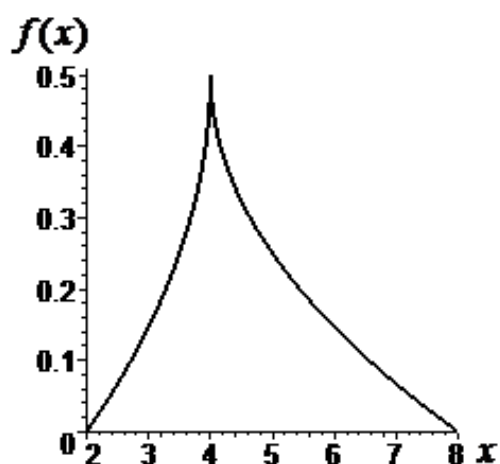


Рис. 1 – Графік щільності розподілу моделі (1) з параметрами $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$, для технології, що забезпечує середню якість

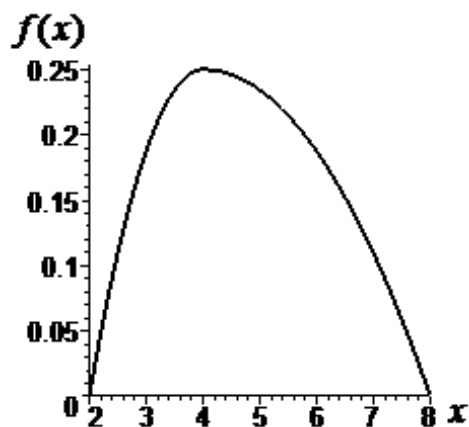


Рис. 1 – Графік щільності розподілу моделі (1) з параметрами $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$, для технології, що забезпечує низьку якість

З представлених рисунків видно, що при однакових параметрах $b = 2, a = 4, c = 8$ для моделі (1) спостерігаються різні форми кривих, які й визначають різні технології та різну якість виготовлення деталей за параметром точності розмірів.

Оскільки точність виготовлення деталей визначається через дисперсію випадкової величини розміру деталей, то була знайдена формула для розрахунку дисперсії випадкової величини - розміру для моделі (1), яка має вигляд:

$$D(X) = \frac{(c-b)^2 (k+1)(2k^2q + 7k^2 + 7k^2q^2 + (4k+1)(q+1)^2)}{12(2k+1)^2(1+q)^2(3k+1)}. \quad (2)$$

За цією формулою були знайдені дисперсії розмірів деталей при трьох технологіях: $D_1(X) = 0,698$, $D_2(X) = 1,354$, $D_3(X) = 1,838$.

Функція розподілу для моделі (1), що дозволяє знаходити ймовірність влучення випадкової величини в заданий інтервал, має вигляд:

$$F(x) = \begin{cases} \frac{k \left[\frac{b-x+q(c-x)}{q(c-b)} \right]^{1/k} (b+qc-x-xq)}{(1+q)(c-b)} + \frac{[(1+q)(x-b+kx) - k(b+qc)]}{(1+q)(c-b)}, & b \leq x \leq \frac{b+qc}{1+q}; \\ \frac{k \left[\frac{b-x+q(c-x)}{c-b} \right]^{1/k} (b+qc-x-xq)}{(1+q)(c-b)} + \frac{[(1+q)(x-b+kx) - k(b+qc)]}{(1+q)(c-b)}, & \frac{b+qc}{1+q} < x \leq c. \end{cases} \quad (3)$$

Знайдемо частку виробів, що потрапили в інтервал $[3; 6]$ для моделей розподілів, що були представлені на рис.1, рис.2, рис.3 з параметрами $b = 2, a = 4, c = 8$ з використанням формули (3). Отримано для моделі розподілу значень розмірів з високою якістю технологічного процесу виготовлення деталей - $P_1 = 0,9142$. Для моделі середньої якості технологічного процесу - $P_2 = 0,7929$. Для моделі розподілу значень розмірів з низькою якістю технологічного процесу виготовлення деталей - $P_3 = 0,6875$.

Аналіз рисунків довів, що найбільш висока точність обробки спостерігається при першій технології на рис.1, де $D(X) = 0,698$. Тому модель (1) є моделлю технологічного процесу високої якості виготовлення деталей за точністю лінійного розміру. Щільність розподілу цієї моделі є дві вгнуті криві та значення щільності в моді уявляє нескінченно велике число. Технологія виготовлення за рисунком 2, де значення $D(X) = 1,354$ уявляє собою модель середньої якості технологічного процесу обробки деталей. У цієї моделі дві криві також вгнуті, але значення щільності в моді є кінцеве число. При даних параметрах $b = 2, a = 4, c = 8$, на рисунку 3, де $D(X) = 1,838$ - є самою великою дисперсією. Тут графік щільності розподілу уявляє собою дві випуклі криві та значення щільності в моді є граничне число. В цьому випадку модель (1) уявляє собою модель низької технологічної якості обробки за параметром точності лінійного розміру.

Наведені приклади підтверджують необхідність введення градацій якості технологічних процесів виготовлення деталей. Аналіз цих процесів дозволить вивчати їх тривання, прогнозувати зміни та за допомогою виявлених закономірностей оптимально управляти ними.

Для проведення аналізу якості технологічного процесу необхідно визначити як та коли проходить перехід процесу в іншу градацію якості. Для цього необхідно знати інтервали зміни числових характеристик для кожного з видів запропонованих градацій технологічних процесів. Визначимо границі зміни експериментальної характеристики точності через теоретичні значення параметрів моделі (1). Незміщеною оцінкою теоретичної дисперсії $D(X)$ є виправлена дисперсія $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^r (x_i - \bar{x})^2 n_i$, де x_i - варіанта вибірки, n_i - частота варіанти, $n = \sum_{i=1}^r n_i$ - об'єм вибірки, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r x_i n_i$ - вибіркова середня.

Зазначимо, що для моделі (1) поправочний коефіцієнт для незміщеної оцінки середнього квадратичного відхилення не знайдено. Тому використовується виправлена дисперсія для розв'язання поставленої задачі.

Отримаємо наступний інтервал вибіркової дисперсії, що знайдений через лінійні теоретичні параметри, який має вигляд:

$$0 < S^2 < \frac{(c-b)^2(7q^2 + 2q + 7)}{144(1+q)^2}. \quad (4)$$

Для моделі середньої якості технологічного процесу виготовлення деталей за параметром лінійного розміру інтервал вибіркової дисперсії, що виражено через лінійні теоретичні параметри, має вигляд:

$$\frac{(c-b)^2(7q^2 + 2q + 7)}{144(1+q)^2} \leq S^2 < \frac{(c-b)^2(q^2 + q + 1)}{18(1+q)^2} \quad (5)$$

Модель низької якості технологічного процесу за параметром точності лінійного розміру має інтервал виготовлення деталей, що представлено у вигляді:

$$\frac{(c-b)^2(q^2 + q + 1)}{18(1+q)^2} < S^2 < \frac{(b-c)^2}{12}. \quad (6)$$

Висновки

1. Отримані розрахункові формули (4), (5), (6) дозволяють в процесі виробництва визначити точність технологічного процесу виготовлення деталей за параметром лінійного розміру.

2. Отримані значення виправленої дисперсії дозволяють проводити оцінку та градацію якості технологічного процесу виготовлення деталей за параметром точності лінійного розміру.

3. Результати досліджень дозволять спрогнозувати кількість якісних деталей та контролювати процес у часі.

Список використаних джерел:

1. Kurniati N. Quality inspection and maintenance: the Framework of interaction / N. Kurniati, R. HueiYeh, J. JangLin // *Procedia Manufacturing*. – 2015. – Vol. 4 – P. 244-251.
2. Abdullah M. M. The influence of ST and HT quality management practices on performance / M. M. Abdullah, J. J. Tari // *Asian pacific management review*. – 2012. – Vol. 17, № 2. – P. 177-193.
3. Costa M. Simultaneous consideration of TQM and ISO 9000 on performance and motivation: an empirical study of Spanish companies / M. Costa, A. Lorentes, T. Choi // *International Journal of Production Economics*. – 2008. – № 113. – P. 23-39.

4. Samson D. The relationship between total Quality management practices and operational performance / D. Samson, M. Terziovski // *Journal of Operations Management*. – 1999. – Vol. 17, № 4. – P. 393–409.
5. Wei Jiang. Integrating SPC and EPC Methods for Quality Improvement / Jiang Wei, John V. Farr // *Quality Technology & Quantitative Management*, – 2007. – Vol. 4, № 3. – P. 345–363.
6. Zhang Z. An instrument for measuring TQM implementation for Chinese manufacturing companies / Z. Zhang, A.B. Waszink, J. Wijngaard // *International Journal of Quality & Reliability Management*. – 2000. – Vol. 17, № 7. – P. 730–755.
7. Razzhivina M. A. *Application of information technologies and principles of lean production for efficiency improvement of machine building enterprises* / M. A. Razzhivina, B. A. Yakimovich, A. I. Korshunov // *Machine building enterprises. Pollack Periodica*. – 2015. – Vol. 10 (2). – P. 17–23.
8. Варнаков Д. В. Применение контрольных карт Шухарта в системах измерения параметров / Д. В. Варнаков, М. А. Афонин // *Аграрный научный журнал*. – 2018. – № 2. – С. 54–58
9. Ламнауер Н. Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки / Н. Ю. Ламнауер // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Темат. випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 27. – С. 98–107.
10. Ламнауер Н. Ю. Загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та її застосування для поліпшення якості виробів / Н. Ю. Ламнауер // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Темат. випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 54. – С. 134–143.
11. Ламнауер Н. Ю. Про інтервали якості при оцінці технологій виготовлення виробів за параметром точності лінійного розміру / Н. Ю. Ламнауер, О. Д. Пташний, Г. С. Бобрицька // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2019. – № 24. – С. 86–91.
12. Ламнауер Н. Ю. Про оцінку точності технологій виготовлення деталей за параметром лінійного розміру / Н. Ю. Ламнауер // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2020. – № 25. – С. 114–120.

References:

1. Kurniati, N, HueiYeh, R & JangLin, J 2015, 'Quality inspection and maintenance: the Framework of interaction', *Procedia Manufacturing*, vol. 4, pp. 244-251.
2. Abdullah, M & Tari, J 2012, 'The influence of ST and HT quality management practices on performance', *Asian pacific management review*, vol. 17, no. 2, pp. 177-193.
3. Costa, M, Lorentes, A & Choi, T 2008, 'Simultaneous consideration of TQM and ISO 9000 on performance and motivation: an empirical study of Spanish companies', *International Journal of Production Economics*, no.113, pp. 23-39.
4. Samson, D & Terziovski M 1999, 'The relationship between total Quality management practices and operational performance', *Journal of Operations Management*, vol. 17, no. 4, pp. 393-409.
5. Jiang, W & Farr, J 2007, 'Integrating SPC and EPC Methods for Quality Improvement', *Quality Technology & Quantitative Management*, vol. 4, no. 3, pp. 345-363.
6. Zhang, Z, Waszink, A & Wijngaard, J 2000, 'An instrument for measuring TQM implementation for Chinese manufacturing companies', *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol.17, no.7, pp.730-755.
7. Razzhivina, M, Yakimovich, B & Korshunov, A 2015, 'Application of information technologies and principles of lean production for efficiency improvement of machine building enterprises', *Machine building enterprises. Pollack Periodica*, vol. 10 (2), pp. 17-23.
8. Varnakov, D & Afonin, M 2018, 'Primenenie kontrolnykh kart Shukharta v sistemakh izmereniya parametrov', *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, no. 2, pp. 54-58.
9. Lamnauer, N 2012, 'Model raspredeleniya razmerov szdeliy i yeye primeneniye dlya ocenki tochnosti obrabotki', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Seriya Matematychno modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Kharkiv, no. 27, pp. 98-107.
10. Lamnauer, N 2013, 'Zagalna model raspredeleniya liniynih rozmiriv detaliy ta yiyi zastosuvannya dlya polipshennya yakosti virobiv', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Seriya Matematychno modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Kharkiv, no. 54, pp. 134-143.
11. Lamnauer, N & Ptasnyi, O & Bobrytska, H 2019, 'Pro intervaly yakosti pry otsyntsi tekhnolohii vyhotovlennia vyrobiv za parametrom tochnosti liniinoho rozmiru', *Mashynobuduvannia*, Ukrainaska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 24, pp. 86-91.
12. Lamnauer, N 2020, 'Pro otsinku tochnosti tekhnolohii vyhotovlennia detalei za parametrom liniinoho rozmiru', *Mashynobuduvannia*, Ukrainaska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 25, pp. 114-120.

Стаття надійшла до редакції 12 травня 2021 року