

DOI 10.32820/2079-1747-2020-25-114-120

УДК 658.562:621

ПРО ОЦІНКУ ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ПАРАМЕТРОМ ЛІНІЙНОГО РОЗМІРУ

©Ламнауер Н.Ю.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

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

Забезпечення якості продукції є важливою задачею в умовах ринкової конкуренції. Неможливо забезпечити випуск якісної продукції без наявності якісної технології. В машинобудуванні основним показником якості є точність виготовлення деталей. Від точності розміру виготовлених деталей залежать експлуатаційні характеристики вироблених машин. Обробка деталей машин може проводитися за допомогою різних технологій, але кожна з них забезпечує різну якість. Висока якість супроводжується збільшенням витрат, що в умовах конкуренції на ринку є не завжди придатним для виробників продукції

В статті вирішується питання оцінки якості технології обробки з урахуванням градації, яка базується на інтервалах якості (висока, середня та низька). Це дозволяє визначити технологію, що забезпечує бажану якість та оцінити, як триває технологічний процес у часі.

В ході розв'язання поставленої задачі використано теоретичний апарат теорії ймовірностей та математичної статистики. Запропоновано використання загальної моделі щільності розподілу лінійних розмірів деталей. Доведено, що ця модель має три різні форми щільності розподілу при однакових значеннях оцінок її параметрів, таких як: нижня та верхня границі розміру, модальне значення. Ці форми ідентифікують якість технологій на основі її градації.

На базі застосування розрахунку дисперсії розмірів, як індикатора точності технологічного процесу обробки деталей проводиться оцінка його якості. Використання отриманих аналітичних виразів для дисперсії розмірів при технологіях, що забезпечують обрану якість (високу, середню та низьку) дозволяють в процесі виробництва оцінити точність та спрогнозувати кількість деталей, що знаходяться у полі допуску лінійного розміру.

Проведені дослідження є часткою процесу управління якістю в машинобудуванні.

Ключові слова: якість, точність виготовлення, деталь, лінійний розмір, дисперсія.

Ламнауер Н.Ю. «Про оцінку точності технологій виготовлення деталей по параметру лінійного розміру»

Обеспечение качества продукции является важной задачей в условиях рыночной конкуренции. Невозможно обеспечить выпуск качественной продукции без имеющейся качественной технологии. В машиностроении основным показателем качества является точность изготовления деталей. От точности размера изготовленных деталей зависят эксплуатационные характеристики произведенных машин. Обработка деталей машин может проводиться с помощью различных технологий, однако каждая из них обеспечивает разное качество. Вы-

сокое качество сопровождается увеличением затрат, которое в условиях конкуренции не всегда подходит производителям продукции.

В статье решаются вопросы оценки качества технологии обработки с учетом градации, которая базируется на интервалах качества (высокое, среднее, низкое). Это позволяет определить технологию, которая обеспечивает желаемое качество и оценить, как проходит процесс во времени.

В ходе решения поставленной задачи использован теоретический аппарат теории вероятностей и математической статистики. Предложено использование общей модели плотности распределения линейных размеров деталей. Доказано, что эта модель имеет три разных формы плотности распределения при одинаковых значениях оценок ее параметров, таких как: нижняя и верхняя границы размера, модальное значение. Эти формы идентифицируют качество технологий на основе его градации.

На базе применения расчета дисперсии размеров, как индикатора точности технологического процесса обработки деталей проводится оценка его качества. Использование полученных аналитических выражений для дисперсии размеров при технологиях, которые обеспечивают выбранное качество (высокое, среднее и низкое) позволяет в процессе производства оценить точность и спрогнозировать количество деталей, которое находится в поле допуска линейного размера. Проведенные исследования являются частью процесса управления качеством в машиностроении.

Ключевые слова: качество, точность изготовления, деталь, линейный размер, дисперсия.

Lamnauer N. «About assessing the accuracy of manufacturing technology of parts by the parameter of linear size»

Ensuring product quality is an important task in a competitive market. It is impossible to ensure the release of quality products without available quality technology. In engineering, the main indicator of quality is the accuracy of parts manufacturing. The operational characteristics of the manufactured machines depend on the accuracy of the size of the manufactured parts. Processing of machine parts can be carried out using various technologies, but each of them provides a different quality. High quality is accompanied by an increase in costs, which in competitive conditions is not always suitable for product manufacturers.

The article considers the issues of assessing the quality of processing technology taking into account gradation, which is based on quality intervals (high, medium, low). This allows determining the technology that provides the desired quality, and evaluating how the process runs in time.

In the course of solving the problem, the theoretical apparatus of probability theory and mathematical statistics was used. The use of a general model of the distribution density of the linear dimensions of parts is proposed. It is proved that this model has three different forms of distribution density with the same estimates of its parameters, such as: lower and upper bounds on the size, modal value. These forms identify the quality of technology based on its gradation.

Based on the application of the calculation of size dispersion, as an indicator of the accuracy of the technological process of processing parts, an assessment of its quality is carried out. The use of the obtained analytical expressions of the dispersion of sizes for technologies that provide the

selected quality (high, medium and low) allows us to evaluate the accuracy and predict the number of parts that are within the tolerance of linear size during production.

These studies are part of the quality management process in engineering.

Keywords: quality, manufacturing accuracy, detail, linear size, dispersion.

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

Машинобудівне виробництво будь-якої держави є важливою складовою економіки. Для підтримки конкурентоспроможності продукції машинобудування на перший план виходять питання забезпечення якості. Якість продукції забезпечується завдяки застосуванню технологій. Тому важливим стає створення інструментів оцінки технологій виготовлення деталей машин. Оцінкою якості технологій є якість отриманих виробів. Одним з показників якості виробів деталей є точність лінійного розміру. Оцінити вигляд розподілу лінійних розмірів деталей можливо за допомогою ймовірно-статистичних методів. Складовою цих методів є використання ймовірно-статистичних моделей розподілу випадкової величини – розміру деталей, для яких знаходяться числові характеристики, використання та оцінки яких дозволяють вирішувати питання забезпечення та контролю якості технологічних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Прагнення до максимально можливої якості з мінімальними витратами є однією з основних задач технології машинобудування. 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]. Принцип побудови контрольної карти розглянуто в [8].

Аналіз сучасних наукових джерел в галузі якості довів, що будь-який інструмент для її досягнення повинен розглядатися в сукупності з мінімізацією витрат [7], в тому числі пов'язану доцільністю застосованої технології. В [11,12] було запропоновано використання градації якості обробки за параметром лінійного розміру деталей, яка дає можливість аналізувати якість в залежності від застосованої технології.

Метою роботи є запропонування оцінки точності технологій виготовлення деталей за параметром лінійного розміру на основі розрахунку дисперсій для моделей розподілу, що відповідають високої, середньої та низької якості.

Виклад основного матеріалу

Експерименти на точність лінійного розміру виготовлення деталей на високо точних станках показали, що при об'ємі вибірки $n = 30 - 40$, така характеристика як коефіцієнт ексцесу має велике значення від 5 – 10. Ця характеристика говорить про міру гостроти, тобто про пік щільності розподілу випадкової величини розміру деталей в моді. В роботах [9,10] була запропонована модель розподілу лінійних розмірів деталей, яка враховує не тіль-

ки існування піку графіку щільності розподілу розмірів, але й існування нижньої та верхньої межі розміру деталей. Ця модель має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \notin (b, c), \\ \frac{1+k}{c-b} \left[1 - \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^{\frac{1}{k}} \right], & x \in [b, a], \\ \frac{1+k}{c-b} \left[1 - \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^{\frac{1}{k}} \right], & x \in (a, c], \end{cases} \quad (1)$$

де a - модальне значення, b - нижня межа та c - верхня межа розміру, k - параметр форми розмірів.

Було знайдено функцію розподілу випадкової величини X лінійного розміру деталей:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq b \\ \left\{ x - b + k(x - a) \left[1 - \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \right\} / (c-b), & b < x \leq a \\ \left\{ x - b + k(x - a) \left[1 - \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \right\} / (c-b), & a < x \leq c \\ 1, & x > c \end{cases} \quad (2)$$

Графіки щільності розподілу (1) мають вигляд, що представлено на рис. 1.

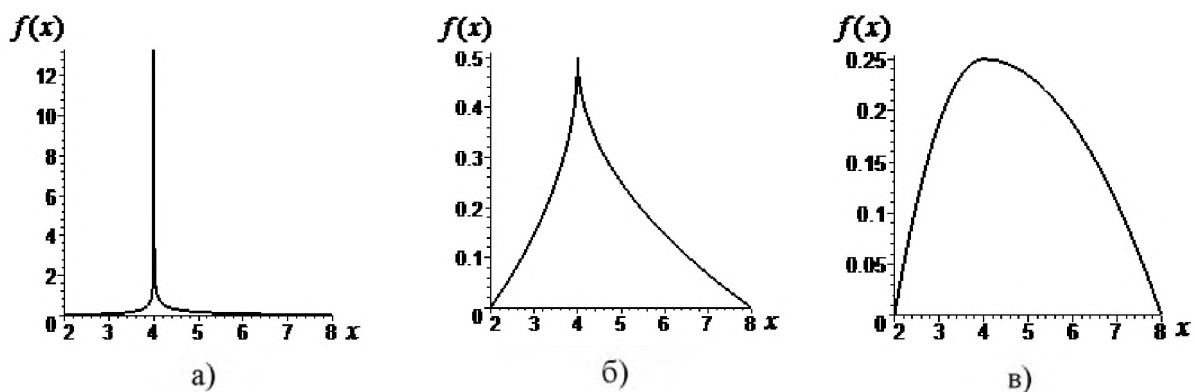


Рис.1 – Щільність розподілу розмірів деталей при різних технологіях обробки:

а) - технологія: $b = 2, a = 4, c = 8, M(X) = 4,930; D(X) = 0,6980$; б) - технологія:

$b = 2, a = 4, c = 8, M(X) = 4,6; D(X) = 1,354$; в) - технологія:

$b = 2, a = 4, c = 8, M(X) = 4,75; D(X) = 1,838$

З рис. 1 видно, що при однакових параметрах $b = 2, a = 4, c = 8$, для моделі (1) спостерігаються різні форми кривих, які визначають різні технології обробки деталей на різних за

точністю станках. Оскільки точність технологічного процесу обробки визначається такою числовою характеристикою, як дисперсія, то було знайдено формулу розрахунку дисперсії моделі (1), яка має вигляд:

$$D(X) = (7b^2k^3 + 7k^3c^2 - 2bk^3c - 12bk^3a + 12k^3a^2 - 12ck^3a + 11b^2k^2 - 10bk^2c + 11k^2c^2 + 12k^2a^2 - 12bk^2a - 12ck^2a - 10bkc + 5kc^2 + 5b^2k + c^2 + b^2 - 2bc) / (12(3k + 1)(2k + 1)^2). \quad (3)$$

Параметр k може бути знайдено через формулу математичного очікування моделі (1), яка має вигляд:

$$M(X) = (b + c + 2ka + kb + kc) / (4k + 2),$$

де $M(X)$ замінено на його незміщену оцінку - вибіркове середнє $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

З рис. 1 видно, що сама висока точність у а) - технології, де $D(X) = 0,6980$. Тому модель (1) з параметром $k \leq -1$ є моделлю високої технологічної точності обробки деталей. Щільність розподілу цієї моделі складається з двох увігнутих кривих та значення щільності розподілу в моді є неорганічно велике число. Модель (1) з параметром форми $k \geq 1$, де $D(X) = 1,354$, уявляє собою модель середньої технологічної якості обробки деталей. У цієї моделі дві криві також увігнуті, але значення щільності в моді є кінцеве число. На рисунку 1 в) - технологія при даних параметрах $b = 2, a = 4, c = 8$, спостерігається саме велике значення дисперсії $D(X) = 1,838$. Графік щільності розподілу уявляє собою дві опуклі криві та значення щільності в моді є обмежене число. В цьому випадку модель (1) має параметр форми $0 < k < 1$ та представляє собою модель низької технологічної якості обробки деталей.

На рисунку 2 представлено графік залежності дисперсії випадкової величини розміру X (3) від параметра k моделі (1) при заданих параметрах $b = 2, a = 4, c = 8$. Знайдемо частку виробів, що потрапили в інтервал $[3; 6]$ моделі (1) з параметрами $b = 2, a = 4, c = 8$, застосувавши формулу (2) для моделі (1).

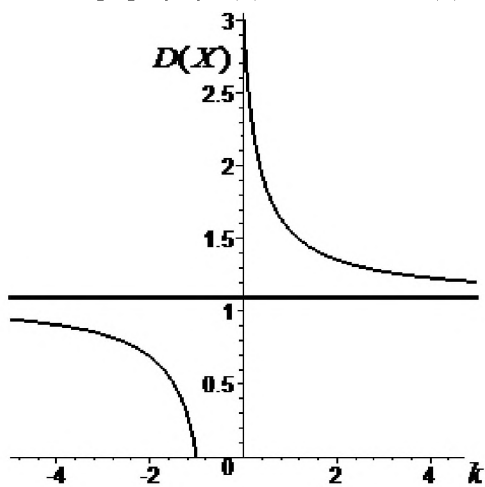


Рис. 2 - Графік дисперсії (3) моделі (1) при параметрах $b = 2, a = 4, c = 8$,

Маємо для моделі (1) з а) - технологією високої технологічної якості обробки: $P_1 = 0,9142$. Для моделі (1): з б) – технологією середньої технологічної якості $P_2 = 0,7929$ та в) – технологією низької якості $P_3 = 0,6875$.

Наведений приклад свідчить про доцільність введення цих трьох градацій якості обробки деталей за лінійним розміром, що дозволяє досліджувати технологічний процес та оптимально їм управляти. Прагнення до максимально можливої якості з мінімальними витратами є однією з основних задач технології машинобудування.

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.

Отримаємо, що для моделі високої технологічної якості обробки деталей за точністю розміру інтервал вибіркової дисперсії через лінійні теоретичні параметри має вигляд:

$$0 < S^2 < \frac{1}{144}(12a^2 + 7b^2 + 7c^2 - 2bc - 12ba - 12ac) \quad (4)$$

Для моделі середньої технологічної якості обробки деталей за точністю розміру інтервал вибіркової дисперсії через лінійні теоретичні параметри має вигляд:

$$\frac{1}{144}(12a^2 + 7b^2 + 7c^2 - 2bc - 12ba - 12ac) \leq S^2 < \frac{1}{18}(a^2 + b^2 + c^2 - bc - ba - ac) \quad (5)$$

Для моделі низької технологічної якості обробки деталей за точністю розміру інтервал вибіркової дисперсії через лінійні теоретичні параметри має вигляд:

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

Висновки

Отримані результати розрахункових формул (4), (5), (6)] дозволяють в процесі виробництва визначити точність технологічного процесу виготовлення деталей за параметром лінійного розміру. Оцінити якість технологічного процесу за кількістю виготовлених деталей та контролювати його у часі. Спрогнозувати необхідну кількість знаходження деталей, що обробляються, у полі допуску лінійного розміру.

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 – Pp. 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, No. 2. – Pp. 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. – No. 113. – Pp. 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, No. 4. – Pp. 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, No. 3. – Pp. 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, No. 7. – Pp. 730 – 755.
7. Ламнауер Н. Ю. Прогнозування технологічної собівартості якісних виробів / Н. Ю. Ламнауер // *Коммунальное хозяйство городов : научно-технический сборник. Серия: Экономические науки*. – Харьков, 2008. – Вып. 85. – С. 390–397.
8. Ламнауэр Н. Ю. Контрольная карта для различных качеств точности / Н. Ю. Ламнауэр // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2011. – Вып. 3/7 (51). – С. 23–26.
9. Ламнауэр Н. Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки / Н. Ю. Ламнауэр // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"* : зб. наук. пр. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 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»* : зб. наук. пр. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 54. – С. 134–143.

11. Ламнауер Н. Ю. Визначення якості технологічного процесу виготовлення виробів з заданим лінійним розміром / Н. Ю. Ламнауер // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії* : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – № 2 (46). – С. 89–92.

12. 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. – Харків : УПА, 2019. – № 24. – С. 86–91.

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. Lamnauer, N 2008, 'Prohnozuvannia tekhnolohichnoi sobivartosti yakisnykh vyrobiv', *Kommunalnoe hozjajstvo gorodov, Serija Jekonomicheskie nauki*, Harkov, iss. 85, pp. 390-397.

8. Lamnauer, N 2011, 'Kontrolnaja karta dlja razlichnyh kvalitetov tochnosti', *Skhidno-Yevropejskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, iss. 3/7 (51), pp. 23-26.

9. Lamnauer, N 2012, 'Model raspredelenija razmerov izdelij i ee primenenie dlja ocenki tochnosti obrabotki', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Tematychnyi vypusk Matematychno modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 27, pp. 98-107.

10. Lamnauer, N 2013, 'Zahalna model rozpodilu liniinykh rozmiriv detalei ta yii zastosuvannia dlja polipshennia yakosti vyrobiv', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Tematychnyi vypusk Matematychno modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 54, pp. 134-143.

11. Lamnauer, N 2019, 'Vyznachennia yakosti tekhnolohichnoho protsesu vyhotovlennia vyrobiv z zadanyim liniinym rozmirom', *Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii*, Donbaska derzhavna mashynobudivna akademiia, Kramatorsk, no. 2 (46), pp. 89-92.

12. 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.

Стаття надійшла до редакції 17 березня 2020 р.