

УДК 621;519.2

Н.Ю. Ламнауер, канд. техн. наук, Харків, Україна

## **УПРАВЛІННЯ ТОЧНІСТЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ТА СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ПАРАМЕТРОМ ЛІНІЙНОГО РОЗМІРУ**

*Запропоновано для управління точністю обробки деталей проводити аналіз якості процесу за формулами: коефіцієнту відносної асиметрії, коефіцієнту точності, коефіцієнту налагодження процесу, що розраховані для загальної чотирьохпараметричної моделі розподілу випадкової величини – лінійного розміру. Для управління точності складання запропоновано алгоритм методу, що забезпечує високу якість виробу за лінійним розміром.*

*Предложено для управления точностью обработки деталей проводить анализ качества процесса по формулам: коэффициента относительной асимметрии, коэффициента точности, коэффициента настроенности процесса, которые рассчитаны для общей четырехпараметрической модели распределения случайной величины – линейного размера. Для управления точностью сборки предложен алгоритм метода, который обеспечивает высокое качество изделия по линейному размеру.*

*For control of precision machining of parts to analyze the quality of the process propose use formulas: of coefficient of relative asymmetry, coefficient accuracy, coefficient of adjustment of process. These factors calculated for the general four-parameter model distribution of the random variable - linear dimension. For control of the accuracy of the assembly proposed algorithm, that provides high quality products for linear dimensions.*

**Вступ.** Від точності обробки та складання деталей залежить надійність та довговічність будь-якої машини. Одним з показників точності обробки є отриманий лінійний розмір деталі. В процесі виготовлення деталей машини точність її розміру у більшому або меншому ступені залежить від технологічних факторів. Частина з цих факторів є причиною систематичних погрешностей, що носять постійний чи змінний характер. Інша частина факторів є причиною випадкових погрешностей. Однією з умов для управління точністю є можливість аналізу якості та своєчасного впливу на технологічний процес з метою усунення виникаючих відхилень. Важливим інструментом в процесі управління якістю на сучасному підприємстві є статистичні методи управління точністю. Тому, розвиток теоретичного базису для управління точністю обробки та складання, що використовує методи статистики та теорії ймовірності має важливе значення в галузі технології машинобудування.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** Аналіз робіт вітчизняних та закордонних вчених [1, 2, 3] показав, що питанням управління якістю та точністю в машинобудуванні з використанням статистичних методів приділяється велика увага. Розвиток теоретичних основ в управлінні точністю

обробки знайшло своє відображення в роботах [4, 5], де була запропонована загальна чотирьохпараметрична модель розподілу випадкової величини – лінійного розміру та знайдені оцінки її параметрів.

В роботі [6] було показано, що точність виробу, що складається залежить від точності лінійних розмірів деталей, які входять до нього. А також доведено, що для отримання виробу високої якості необхідно, щоб дисперсія величин абсолютного відхилення розмірів від номінального, що йдуть на складання, була мінімальною.

**Метою** даної статті є розв’язання задач управління точністю технологічних процесів обробки та складання за параметром лінійного розміру, зі застосуванням ймовірносно-статистичних методів.

**Постановка проблеми.** В процесі управління точністю обробки необхідно проводити аналіз точності процесу. Для цього необхідно мати статистичні характеристики, що стають індикатором якості. Отримана в [4, 5] ймовірносно-статистична загальна модель розподілу випадкової величини – лінійного розміру та знайдені оцінки її параметрів дозволяють запропонувати показники точності технологічного процесу, а також вирішувати питання, що, пов’язані з управлінням точністю складання деталей машин.

**Аналіз точності технологічного процесу обробки, як складова управління якістю за параметром лінійного розміру.**

Запропонована загальна модель розподілу та знайдені оцінки її параметрів, дають можливість аналізувати точність процесу обробки за допомогою таких показників, як: коефіцієнти точності та налагодженості. Поле розсіювання розмірів (розмах  $c-b$ ), оцінка якого має вигляд:  $\tilde{c}-\tilde{b}$  достатньо просто можливо визначити за допомогою моделі [4]:

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

де  $a$  – модальне значення,  $b$  – нижня границя,  $c$  – верхня границя розміру,  $k$  – параметр форми.

Оцінки параметрів  $b$  та  $c$  визначаються за знайденими  $k$  та  $q$  з розв’язання системи:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{x} = \frac{3kb + kbq + b + bq + 3kqc + kc + c + qc}{2(1+q)(2k+1)}, \\ S^2(X) = \frac{(c-b)^2 (k+1)(2k^2q + 7k^2 + 7k^2q^2 + (4k+1)(q+1)^2)}{12(2k+1)^2(1+q)^2(3k+1)} \end{array} \right.$$

Оцінки параметрів  $k, q$  знаходяться з розв'язання системи:

$$\left\{ \begin{array}{l} RD1 = 4(2 + 2q^2 + 9k + 9kq^2 + 13k^2 + 13k^2q^2 + 14k^2q + 18kq + 4q)^2 (k + 1) / (3(7k^2 + 2k^2q + 7k^2q^2 + 4k + 4kq^2 + 8kq + 1 + 2q + q^2)(1+q)^2(2 + 3k)^2(1+3k)); \\ RD2 = (2 + 2q^2 + 9k + 9kq^2 + 13k^2 + 13k^2q^2 + 14k^2q + 18kq + 4q)(11k + 2 + 11kq^2 + 2q^2 + 22k^2 + 22k^2q^2 + 13k^3 + 13k^3q^2 + 22kq + 32k^2q + 14k^3q + 4q) / (3(7k^2 + 2k^2q + 7k^2q^2 + 4k + 4kq^2 + 8kq + 1 + 2q + q^2)(1+q)^2(2 + 3k)^2(1+3k)), \end{array} \right.$$

де  $RD1 = (\tilde{\mu}_{2,2} - \tilde{\mu}_{1,2})^2 / S^2(X)$  та  $RD2 = (\bar{x} - \tilde{\mu}_{1,2})^2 / S^2(X)$ , при цьому оцінки  $\tilde{\mu}_{1,2}, \tilde{\mu}_{2,2}$  – математичні очікування порядкових статистик вибірки

об'єму два беруться з виразів:  $\tilde{\mu}_{1,2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (n-1-i)x_{(i+1)},$

$\tilde{\mu}_{2,2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (1+i)x_{(i+2)},$  а  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  – вибіркове середнє та

$S^2(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$  – виправлена вибіркова дисперсія.

Оцінка параметра  $a$  визначається за формулою  $a = (b + cq) / (1 + q)$ .

Для всіх розрахунків створені програми в системі MAPLE.

Оскільки для одномодального не симетричного розподілу, що має, як додатній, так й від'ємний коефіцієнт асиметрії, модальне значення більш віддалене від середнього значення поля розсіювання, ніж математичне очікування, то правильно було б ввести коефіцієнт відносної асиметрії, замінюючи математичне очікування модальним значенням. В цьому випадку для моделі (1) коефіцієнт відносної асиметрії має вигляд:

$$as = (2a - b - c) / (c - b) \quad (2)$$

Якщо  $x_0$  – координата середини поля допуску,  $\delta$  – половина встановленого поля допуску, то коефіцієнт точності для моделі (1) визначається формулою:

$$\eta = (c - b) / 2\delta \quad (3)$$

Оскільки для одномодального розподілу,  $\eta$  має як додатний, так й від’ємний коефіцієнт асиметрії, ймовірність появи розмірів в деякому симетричному околу моди більше, ніж в цьому ж околу відносно математичного очікування, то, бажано, в коефіцієнті налагодження процесу  $E = [M(X) - x_0] / \delta$  замінити математичне очікування модою. В цьому випадку для моделі (1) коефіцієнт налагодження процесу має вигляд:

$$E = [a - x_0] / \delta. \quad (4)$$

Модель (1) обмежена зліва та справа, тому частка дефектних виробів, що вийшли за межі поля допуску, визначиться в залежності від взаємного розташування поля допуску  $2\delta$  і поля розсіювання  $c - b$ .

Визначимо частку дефектних виробів через коефіцієнти відносної асиметрії (2,) точності (3) та налагодженості процесу (4).

Якщо дефектні вироби відсутні, то  $b \geq x_0 - \delta$  і  $c \leq x_0 + \delta$ . В цьому випадку повинні виконуватися нерівності:  $\eta(1 + as) \leq 1 + E$ ;  $\eta(1 - as) \leq 1 - E$ , такі ж, як до заміни математичного очікування модою. У випадку, коли тільки поле розсіювання розмірів виходить за ліву межу поля допуску, тобто  $x_0 - \delta \geq b$ , а  $c \leq x_0 + \delta$ , частка дефектних виробів має вигляд:

$$p_1 = \frac{as + 1}{2} + \frac{1 + E}{2\eta} \left( k \left( \frac{1 + E}{\eta(1 + as)} \right)^{1/k} - k - 1 \right), \quad (5)$$

де  $a \geq x_0 - \delta$ .

Ця частка залежить від параметра форми  $k$ , як і у випадку, коли тільки поле розсіювання розмірів виходить за праву межу поля допуску, тобто  $x_0 + \delta \leq c$  і  $b \geq x_0 - \delta$ . Тоді частка дефектних виробів для  $a \leq x_0 + \delta$  має вигляд:

$$p_2 = -\frac{as - 1}{2} - \frac{1 - E}{2\eta} \left( -k \left( \frac{1 + E}{\eta(as - 1)} \right)^{1/k} + k + 1 \right). \quad (6)$$

Якщо поле розсіювання розмірів виходить за обидві межі поля допуску і має місце нерівність  $x_0 - \delta \leq a \leq x_0 + \delta$ , то частка дефектних виробів дорівнює  $p_1 + p_2$ .

**Управління точністю складання деталей за параметром лінійного розміру.** Проведені теоретичні дослідження розподілів випадкової величини – лінійного розміру в [6] довели, що дисперсія мінімального значення абсолютного відхилення величини розміру від номінального в десятки разів менше дисперсії випадкової величини. – лінійного розміру.

Ці результати, що базувалися на ймовірносно-статистичних методах досліджень, а саме: на вивченні властивостей дисперсії, дозволили запропонувати метод управління точністю складання деталей, що забезпечить високу якість за параметром лінійного розміру. Цей метод складається з наступного алгоритму:

1. Взяти вибірку об'єму  $m$  від 5 до 10 деталей, що йдуть на складання.
2. Визначити їхні лінійні розміри.
3. Оцінити моду  $a$ , загальної чотирьохпараметричної моделі лінійного розміру.
4. Визначити абсолютні величини  $z_i$  ( $i=1..m$ ) від'ємності лінійного розміру  $x_i$  деталі від отриманого модального значення:  $z_i = |x_i - a|$
5. Отримані значення  $z_i$  упорядкувати за величиною від мінімального до максимального.
6. Повторити все, починаючи з першого пункту, для інших складальних деталей.
7. Проводити складання деталей, що мають перше упорядковане значення  $z_{(1)}$ .
8. Додавати по одному виду деталей, що йдуть на складання, та повторяти все з пункту 2.

#### **Висновки.**

1. Запропоновано для управління точністю обробки за параметром лінійного розміру проводити аналіз якості технологічного процесу, визначаючи: коефіцієнт відносної асиметрії, коефіцієнт точності, коефіцієнт налагодження процесу за розрахунковими формулами для загальної моделі розподілу лінійних розмірів..
2. Запропоновано метод управління точністю складання за параметром лінійного розміру, що забезпечує високу якість виробу.

**Список використаних джерел:** 1. Вакулич Е.А., Годлевский В.Е., Карпилова О.М., Киселев В.Н., Кокотов В.Я., Юнак Г.Л. Статистические методы анализа качества: Учебное пособие. – Самара: НВФ «Сенсоры. Модули, Системы», 1998. – 104 с. 2. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Якимов А.А., Новиков Г.В., Решетнев Н.И. Теоретические основы технологии машиностроения: Учебник – Одесса, ОНПУ, 2002. – 491 с. 3. Mohammed A. Rahim, Yasir A. Siddiqui, Moustafa Elshafei

/Integration of Multivariate Statistical Process Control and Engineering Process Control// Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7-9, 2014 4. Ламнауер Н.Ю. Загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та її застосування для поліпшення якості виробів. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №54 (1027). – С.134-143. 5. Ламнауер Н.Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №27. – С.98-107. 6. Ламнауер Н.Ю. Метод сборки деталей машин, обеспечивающий точность соединения. Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2014. – 6/7(72). – С.45-49.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vakulich E.A., Godlevskij V.E., Karpilova O.M., Kiselev V.N., Kokotov V.Ja., Junak G.L. Statisticheskie metody analiza kachestva: Uchebnoe posobie. – Samara: NVF «Sensory. Moduli, Sistemy», 1998. – 104 s. 2. Jakimov A.V., Novikov F.V., Jakimov A.A., Novikov G.V., Reshetnev N.I. Teoreticheskie osnovy tehnologii mashinostroenija: Uchebnik – Odessa, ONPU, 2002. – 491 s. 3. Mohammed A. Rahim, Yasir A. Siddiqui, Moustafa Elshafei /Integration of Multivariate Statistical Process Control and Engineering Process Control// Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7-9, 2014 4. Lamnauer N.Ju. Zagal'na model' rozpodilu linijnih rozmiriv detal'ej ta ii zastosuvannja dlja polipshennja jakosti virobiv. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut». Zbirnik naukovih prac'. Tematičnij vipusk: Matematichne modeljuvannja v tehničniji ta tehnologijah. – Harkiv: NTU «HPi». – 2013. – №54 (1027). – S.134-143. 5. Lamnauer N.Ju. Model' raspredelenija razmerov izdelij i ee primenenie dlja ocenki točnosti obrabotki. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut». Zbirnik naukovih prac'. Tematičnij vipusk: Matematichne modeljuvannja v tehničniji ta tehnologijah. – Harkiv: NTU «HPi». – 2012. – №27. – S.98-107. 6. Lamnauer N.Ju. Metod sborki detal'ej mashin, obespechivajushhij točnost' soedinenija. Vostočno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij – 2014. – 6/7(72). – S.45-49.