DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-159-165

УДК 621.002:658.56

КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В МАШИНОБУДУВАННІ З ЗАСТОСУВАННЯМ ТРИПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

©Черкашина О. С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Черкашина Ольга Сергіївна: ORCID: 0000-0002-5564-5100; olgacherkashina231@ukr.net, старший викладач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті розглядається доцільність використання статистичних методів аналізу точності, стабільності й керування ТП, що передбачає контроль процесу лише за одним показником якості виробу. Для безрозмірного показника якості розглянуто оцінки параметрів та знайдено числові характеристики цих моделей. На основі отриманих оцінок запропоновано метод визначення якості технологічних процесів у машинобудуванні.

Ключові слова: якість, технологічний процес, моделювання, числові характеристики, безрозмірний показник.

Черкашина О.С. «Управление качеством технологических процессов в машиностроении с применением трехпараметрического моделирования».

В статье рассматривается целесообразность использования статистических методов анализа точности, стабильности и управления ТП, предусматривает контроль процесса лишь по одному показателю качества изделия. Для безразмерного показателя качества рассмотрены оценки параметров и найдены числовые характеристики этих моделей. На основе полученных оценок предложен метод определения качества технологических процессов в машиностроении.

Ключевые слова: качество, технологический процесс, моделирование, численные характеристики, безразмерный показатель.

Cherkashina O. «Management of quality of technological processes in mechanical engineering using three-parameter modeling».

The article considers the expediency of using statistical methods for the analysis of accuracy, stability and control of the technological process, which involves controlling the process with only one indicator of product quality. Recently, for the management of the quality of the technological process in mechanical engineering, preliminary simulation using two-parameter models is used. Mass experiments show that with the time of the technological process, not only the mean and dispersion but also the shape of the distribution curve changes. This suggests that the distribution of quality indices should have a form parameter. To find a generalized model quality indicator that has three parameters, it is advisable to apply a dimensionless quality score. In some works this figure is given, but it is used only with symmetric deviations about the middle of the field of admission. Therefore, in the work, the dimensionless quality index is offered at any deviations of the middle of the field of admission at any time. The studies carried out on the accuracy of the manufacture of products showed that the dimensionless characteristic may also have distribution laws

For the dimensionless quality index, the estimations of parameters are considered and numerical characteristics of these models are found, namely variance, mathematical expectation. In this paper a method for obtaining estimates of model parameters and using the obtained recurrence value for mathematical expectations of ordinal statistics was proposed.

Proposed temporal dimensionless models of quality of the technological process and found for them estimation of parameters on the basis of developed methods that use ordinal statistics, can offer a method for determining the quality of technological processes in mechanical engineering.

The developed and theoretically substantiated approximate models of the dimensionless parameter of the quality of the technological process in machine building can be used with any controlled parameters, regardless of their physical nature and statistical distributions. The proposed method for determining the quality of the technological process is used to obtain estimates of the parameters of the distribution of random variables. The advantage of the developed method of quality evaluation is its simplicity. This method can be used not only for assessing the quality of the technological process in machine building, but also in other industries.

Key words: quality, technological process, modeling, numerical characteristics, dimensionless index.

Вступ

У цей час для України важливим завданням є випуск якісної конкурентоспроможної продукції, яка залежить від рівня виконання технологічних процесів (ТП). Статистичні методи аналізу точності, стабільності й керування ТП, що регламентовані нормативними документами, передбачають контроль процесу лише за одним показником якості виробу, але він звичайно характеризується декількома показниками (точністю, надійністю й ін.). Останнім часом для керування якістю ТП у машинобудуванні застосовують попереднє моделювання з використанням двопараметричних моделей. Масові експерименти показують [1], що з часом t роботи ТП змінюється не тільки середнє й дисперсія, але й форма кривої міцності розподілу. Це говорить про те, що розподіл показників якості повинен мати й параметр форми. Для знаходження узагальненого показника якості моделі, що має три параметра, доцільно застосувати безрозмірний показник якості. В роботах [1,2] приводиться такий показник, але він використовується тільки при симетричних відхиленнях щодо середини поля допуску. Тому пропонується безрозмірний показник якості при будь-яких відхиленнях середини поля допуску в будь-який момент часу t у вигляді

$$r_j(t) = \frac{x_i - x_0 - (\Delta_1 + \Delta_2)/2}{(\Delta_1 - \Delta_2)/2}, \tag{1}$$

де x_i - i-ого значення j показника якості ТП; x_0 - середина поля допуску j показника якості ТП; Δ_1>0 - верхнє відхилення, Δ_2<0 - нижнє відхилення j показника якості ТП.

Дослідження, які проводилися з точності виготовлення виробів, показали, що безрозмірна характеристика (1) також може мати закони розподілу, наведені в роботі [1].

Модель якості ТП. Так як при будь-якому кінцевому t величини $r_j(t)$ фізично обмежені як "зверху", так і "знизу", то безрозмірна величина $r_j(t)$ має нижній $r_{0j}(t)$ і верхній пороги $r_{\hat{a}j}(t)$ значень $r_j(t)$, які кінцеві. Причому завжди $r_{0j}(t) < r_{\hat{a}j}(t)$. Тому моменти t_{1j} й t_{2j} відмови j-ого показника системи з якості визначаються

$$r_{0j}(t) = -1 \text{ і } r_{\hat{a}j}(t) = 1, \tag{2}$$

а якість цього показника за часом характеризується величиною

$$T_j = \min(t_{1j}, t_{2j}). \tag{3}$$

ISSN 2079 – 1747 Машинобудування, 2019, №23
DOI 10.32820/2079-1747-2019-23

Звідси якість всієї системи за показниками, що контролюються є величина

$$O' = \min_{1\le j\le N}\left\{T_j\right\} \cdot \tag{4}$$

Помітимо, що при такому підході оцінки якості процесу, повинні всі спостережувальні значення $r_{i(t)}$ лежати в інтервалі (-1+ε, 1-ε), де ε мале позитивне число. Тому що ця оцінка O' визначається за неспостережуваним значенням верхнього $r_{\hat{a}}$ й нижнього r_0 порога безрозмірного параметра r.

Очевидно, що дана модель якості не використовує припустиму ймовірність браку, як інші моделі, а, навпаки, припускає, що брака не повинно бути до моменту часу t й при інших випробуваннях за всіма показниками процесу.

У роботі [1] побудовані дві моделі безрозмірного показника якості r з функціями міцності в будь-який момент часу t

$$f_1(r) = \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(r_{\hat{a}} - r_o)^{2+\alpha}}(r - r_o)(r_{\hat{a}} - r)^{\alpha}, \tag{5}$$

$$f_2(r) = \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(r_{\hat{a}} - r_o)^{2+\alpha}}(r - r_o)^{\alpha}(r_{\hat{a}} - r) \tag{6}$$

і для них були знайдені функції розподілу

$$F_1(r) = \begin{cases} 0 & ,где \quad r \le r_o \\ 1 - \dfrac{(r_{\hat{a}} - r)^{\alpha+1}\left(r_{\hat{a}} - r_o + (1+\alpha)(r - r_o)\right)}{(r_{\hat{a}} - r_o)^{2+\alpha}} & ,где \; r_o \le r \le r_{\hat{a}} \\ 1 & ,где \quad r > r_{\hat{a}} \end{cases}, \tag{7}$$

$$F_1(r) = \begin{cases} 0 & ,где \quad r \le r_o \\ 1 - \dfrac{(r_{\hat{a}} - r)^{\alpha+1}\left(r_{\hat{a}} - r_o + (1+\alpha)(r_a - r)\right)}{(r_{\hat{a}} - r_o)^{2+\alpha}} & ,где \; r_o \le r \le r_{\hat{a}} \\ 1 & ,где \quad r > r_{\hat{a}} \end{cases} \cdot \tag{8}$$

У даній роботі був запропонований метод одержання оцінок параметрів моделей (5) і (6) з використанням отриманого рекуррентного значення для математичних очікувань порядкових статистик. Ці оцінки моделі (5) для параметра форми α знаходяться з рішення рівняння

$$\frac{\sum_{i=2}^{n-1}(i-1)(n-i)r_{(i)} - \sum_{i=1}^{n-2}C_{n-i}^2 r_{(i)}}{\sum_{i=3}^{n}C_{i-1}^2 r_{(i)} - \sum_{i=1}^{n-2}C_{n-i}^2 r_{(i)}} = \frac{31\alpha^3 + 192\alpha^2 + 377\alpha + 240}{81\alpha^3 + 432\alpha^2 + 747\alpha + 420}, \tag{9}$$

а оцінка параметра теоретичного розмаху $r_k = r_в - r_0$ визначається з знайденого параметраα .

$$\hat{r}_k = \frac{2(2\alpha+5)(2\alpha+3)(\alpha+3)\left(\sum_{i=3}^{n} C_{i-1}^2 r_{(i)} - \sum_{i=1}^{n-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}\right)}{3n(n-1)(n-2)(\alpha+1)(\alpha+2)}. \quad (10)$$

Оцінка нижнього порога r_0 розраховується з знайдених α і r_k

$$\hat{r}_0 = \frac{6\sum_{i=1}^{n-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}}{n(n-1)(n-2)} - \frac{2\hat{r}_k\left(13\alpha^2+41\alpha+32\right)}{(3\alpha+7)(3\alpha+5)(3\alpha+4)}. \quad (11)$$

Аналогічно визначаються оцінки й для моделі (6) за формулами

$$\frac{\sum_{i=2}^{n-1}(i-1)(n-i)(r_i) - \sum_{i=1}^{n-2} C_{n-i}^2 r_i}{\sum_{i=3}^{n} C_{i-1}^2 r_i - \sum_{i=1}^{n-2} C_{n-i}^2 r_i} = \frac{50\alpha^3+240\alpha^2+370\alpha+180}{81\alpha^3+432\alpha^2+747\alpha+420}, \quad (12)$$

$$\hat{r}_k = \frac{2(2\alpha+5)(2\alpha+3)(\alpha+3)\left(\sum_{i=3}^{n} C_{i-1}^2 r_{(i)} - \sum_{i=1}^{n-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}\right)}{3n(n-1)(n-2)(\alpha+1)(\alpha+2)}, \quad (13)$$

$$\hat{r}_0 = \frac{6\sum_{i=3}^{n} C_{i-1}^2 r_{(i)}}{n(n-1)(n-2)} - \frac{(1+\alpha)\left(27\alpha^2+91\alpha+76\right)}{(3\alpha+7)(3\alpha+5)(3\alpha+4)}\hat{r}_k. \quad (14)$$

Всі ці оцінки незміщені й очевидно, що оцінки розмаху r_k для цих двох моделей мають однаковий вигляд.

Перед нами стало завдання знайти нові оцінки цих моделей (5) і (6), які мали найменшу дисперсію в порівнянні з наведеними оцінками. Для цього спочатку знайдемо числові характеристики цих моделей.

Числові характеристики моделей безрозмірного параметра. Знайдемо числові характеристики моделей (5) і (6) безрозмірного параметра *r*, які надалі будуть необхідні для оцінки параметрів цих моделей.

Математичне очікування випадкової величини *r* для моделі (5) має вигляд:

$$M(r) = r_0 + \frac{2(r_в - r_0)}{\alpha+3}. \quad (15)$$

Математичне очікування випадкової величини *r* для моделі (6) визначаємо по формулі

$$M(r) = r_0 + \frac{(1+\alpha)(r_в - r_0)}{\alpha+3}. \quad (16)$$

Дисперсія випадкової величини r для моделі (5)

$$D(r)=\frac{2(\alpha+1)(r_{\hat{a}}-r_0)^2}{(\alpha+3)^2(\alpha+4)}, \tag{17}$$

а для моделі (6) дисперсія випадкової величини r також визначається по формулі (17).

Використовуючи формулу математичного очікування i-ої порядкової статистики з вибірки обсягу n [3]

$$\mu_{i:n}=nC_{n-1}^{i-1}\int_{-\infty}^{\infty}x[F(x)]^{i-1}[1-F(x)]^{n-i}f(x)dx$$

маємо для моделі (5) математичне очікування першої порядкової статистики вибірки обсягу n

$$\mu_{1:n}=r_0+r_k\frac{2(2+\alpha)F(3,1-n;3+n+\alpha n;-1-\alpha)}{(2+n+\alpha n)(n+\alpha n+1)}, \tag{18}$$

де $F(\beta,\gamma;\delta;z)$ - гіпергеометрична функція.

Для моделі (6) математичне очікування останньої порядкової статистики вибірки обсягу n

$$\mu_{n:n}=r_в-r_k\frac{2(2+\alpha)F(3,1-n;3+n+\alpha n;-1-\alpha)}{(2+n+\alpha n)(n+\alpha n+1)}. \tag{19}$$

Метод одержання оцінки якості ТП і оцінки параметрів моделей безрозмірного показника якості. Для одержання оцінок моделі (5) приймемо, що середнє вибіркове значення $\overline{r}$ збігається з математичним очікуванням (15) моделі (5). Квадрат стандартного відхилення S^2 збігається з теоретичною дисперсією (17), а найменше вибіркове значення $r_{(1)}$ з математичним очікуванням першої порядкової статистики (18) вибірки обсягу n. В результаті маємо три рівняння із трьома невідомими рішеннями, які дають оцінки параметрів моделі (5).

Для знаходження оцінки параметра форми α необхідно вирішити рівняння

$$\frac{\overline{r}-r_{(1)}}{S}=\sqrt{\frac{2(\alpha+4)}{\alpha+1}}\left(1-\frac{(3+\alpha)(2+\alpha)F(3,1-n;3+n+\alpha n;-1-\alpha)}{(2+n+\alpha n)(n+\alpha n+1)}\right). \tag{20}$$

Оцінка параметра масштабу r_k визначається по знайденому параметрі форми α, з формулі

$$\widehat{r_k}=S(\alpha+3)\sqrt{\frac{\alpha+4}{2(\alpha+1)}}, \tag{21}$$

а оцінка параметра r_0 має вигляд

ISSN 2079 – 1747 Машинобудування, 2019, №23
DOI 10.32820/2079-1747-2019-23

$$\hat{r}_0 = \overline{r} - \frac{2\hat{r}_k}{\alpha + 3}. \qquad (22)$$

Для одержання оцінок моделі (6) приймемо, що середнє вибіркове значення $\overline{r}$ збігається з математичним очікуванням (16) моделі (6). Квадрат стандартного відхилення S^2 збігається з теоретичною дисперсією (17), а найбільше вибіркове значення $r_{(n)}$ з математичним очікуванням останньої порядкової статистики (19) вибірки обсягу n. В результаті маємо три рівняння із трьома невідомими рішеннями, які дадуть оцінки параметрів моделі (6).

Так для оцінки параметра форми α потрібно вирішити рівняння відносно α

$$\frac{r_{(n)} - \overline{r}}{S} = \sqrt{\frac{2(\alpha+4)}{\alpha+1}}\left(1 - \frac{(3+\alpha)(2+\alpha)F(3,1-n;3+n+\alpha n;-1-\alpha)}{(2+n+\alpha n)(n+\alpha n+1)}\right). \qquad (23)$$

Оцінка масштабного параметра r_k визначається по формулі (21), а оцінка нижнього порога має вигляд

$$\hat{r}_0 = \overline{r} - \frac{(1+\alpha)\hat{r}_k}{\alpha + 3}. \qquad (24)$$

Провівши статистичний аналіз із використанням методу Монте-Карло для двох моделей зі значеннями $\Delta_1 = 0,08$, $\Delta_2 = -0,09$, $\alpha = 1$ і з нижнім порогом $x = 9,9$ при розмаху $x_k = 0,2$ з номінальним розміром x_0 =10 сто вибірок обсягом $n = 20$ було отримано, що для моделі (5) кращими оцінками є оцінки (9), (10) і (11). Дані оцінки дали меншу дисперсію нижнього й верхнього порога відповідно рівну 0,000387 і 0,004729 у порівнянні з оцінками (20), (21) і (22). Для моделі (6) з розкиду виявилися кращими оцінки, які використовують формули (23), (21) і (24).

Пропоновані тимчасові безрозмірні моделі якості ТП (5) і (6) і знайдені для них оцінки параметрів на основі розроблених методів, що використовують порядкові статистики, дозволяють запропонувати метод визначення якості технологічних процесів.

Даний метод полягає в наступному:

1. За результатами вимірів обсягом $n \geq 3$ кожного з контрольованих j-тих параметрів x ТП у кожному тимчасовому перерізі t, по (1) визначаються відповідні безрозмірні параметри r й далі з них складаються варіаційні ряди r_i ($1 \leq i \leq n$) (порядкові статистики).

2. По запропонованим формулам для моделей (5) і (6) у кожному тимчасовому перерізі t розраховуються нижні й верхні пороги безрозмірного параметра.

3. Як тільки один із чотирьох порогів по абсолютній величині, стане більше одиниці, процес розрахунку припиняється.

4. По тім порозі, що по абсолютній величині, став більше одиниці, будуємо в тимчасових перерізах t інтерполяційний багаточлен.

5. Дорівнюючи даний багаточлен до одиниці або мінус одиниці залежно від знака порога знаходимо те значення часу T_j, що характеризує j-ий показник якості.

6. Знайшовши всі T_j, визначаємо з них найменше, котре характеризує якість усього ТП.

Висновки. Розроблені й теоретично обґрунтовані наближені моделі безрозмірного параметра якості ТП у машинобудуванні можуть бути використані при будь-яких контрольованих параметрах незалежно від їхньої фізичної природи й статистичних розподілів. Запропонований метод визначення якості ТП застосуємо для одержання оцінок параметрів розподілу випадкових величин. Перевагою розробленого методу оцінки якості ТП є його простота. Даний метод можливо використовувати не тільки для оцінки якості ТП у машинобудуванні, але й в інших галузях промисловості.

Список использованных источников:

1. Куцин А. Н. Оценка качества технических систем / А. Н. Куцин, Ю. И. Созонов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – № 7. – С. 23-27.
2. Резниченко Н. К. Безразмерный комплексный параметр качества технологической системы / Н. К. Резниченко // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Харків : «ХПІ», 2006. – Вип. 1 (12). – С. 417-423.
3. Дэйвид Г. Порядковые статистики / Г. Дэйвид. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 336 с.
4. Abdullah M.M., Tari J.J. "The influence of ST and HT quality management practices on performance". Asian pacific management review, Vol.17, No. 2, 2012, 177-193.
5. Islam M.A., A.F.M.A. Haque "Pillars of TQM implementation in manufacturing organization- An empirical study", Journal of Research in international business and management, Vol.2, No.5, 2012, 128-141.
6. Li, J. G, Yao, Y. X., Wang, P. Assembly accuracy prediction based on CAD model [Text]. /J. G. Li, Y. X. Yao, P. Wang // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014–Volume 75 – P. 825–832.
7. 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.

References

1. Kucin, AN & Sozonov, JuI 2004, 'Ocenka kachestva tehnicheskih sistem', Sborka v mashinostroenii, priborostroenii, no. 7, pp. 23-27.
2. Reznichenko, NK 2006, 'Bezrazmernyj kompleksnyj parametr kachestva tehnologicheskoj sistemy', Vysoki tekhnolohii v mashynobuduvanni, Kharkivskyi politekhnichnyi instytut, Kharkiv, iss. 1 (12), pp. 417-423.
3. Djejvid, G 1979, Porjadkovye statistiki, Nauka. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoj literatury, Moskva.
4. Abdullah M.M., Tari J.J. "The influence of ST and HT quality management practices on performance". Asian pacific management review, Vol.17, No. 2, 2012, 177-193.
5. Islam M.A., A.F.M.A. Haque "Pillars of TQM implementation in manufacturing organization- An empirical study", Journal of Research in international business and management, Vol.2, No.5, 2012, 128-141.
6. Li, J. G, Yao, Y. X., Wang, P. Assembly accuracy prediction based on CAD model [Text]. /J. G. Li, Y. X. Yao, P. Wang // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014–Volume 75 – P. 825–832.
7. 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.

Стаття надійшла до редакції 19 квітня 2019 р.