

УДК 519.2:621

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ
КООРДИНОВАНИХ ОТВОРІВ СТАТИСТИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

©Бурдейна В. М.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Бурдейна Вікторія Михайлівна: ORCID: 0000-0002-0026-1900; otss@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Визначені та проаналізовані основні етапи та підходи до оцінювання показників якості розмірів координованих отворів машинобудуванні. Визначені основні аспекти для процесу оцінювання якості показників розмірів отворів за допомогою нової моделі статистичних методів. Виявлені основні аспекти точності оцінювання розмірів координованих отворів як комплексного показника. Визначені та проаналізовані основні причини виникнення похибок при обробці координованих отворів при механічній обробці. Розглянуті випадкові похибки, що виникають під час оцінювання показників координованих отворів при різних видах обробки. Розглянуті нормовані показники якості точності розмірів отворів при обробці різними методами. Результати обробки координованих отворів проаналізовані за критерієм згоди Пірсона. Проаналізовано модель оцінювання якості за допомогою параметрів статистичного аналізу. Отримані для різних видів обробки числові характеристики запропонованої моделі оцінювання якості.

Ключові слова: координований отвір; характеристика; обробка; критерій Пірсона; модель; розмір.

Бурдейная В. М. «Оптимизация процесса оценивания показателей качества координированных отверстий статистическими методами».

Определены и проанализированы основные этапы и подходы к оценке показателей качества размеров координированных отверстий в машиностроении. Определены основные аспекты для процесса оценивания показателей качества размеров отверстий с помощью новой модели статистических методов. Выявлены основные аспекты точности оценки размеров координированных отверстий как комплексного показателя. Определены и проанализированы основные причины возникновения погрешностей при обработке координированных отверстий при механической обработке. Рассмотрены случайные погрешности, возникающие при оценке показателей координированных отверстий при различных видах обработки. Рассмотрены нормированные показатели качества точности размеров отверстий при обработке различными методами. Результаты обработки координированных отверстий проанализированы по критерию согласия Пирсона. Проанализированы модель оценивания качества с помощью параметров статистического анализа. Полученные для различных видов обработки числовые характеристики предложенной модели оценки качества.

Ключевые слова: координированное отверстие; характеристика; обработка; критерий Пирсона; модель; размер.

Burdeina V. “Optimization of the process of evaluation of quality indicators of coordinated holes by statistical methods”.

The basic stages and approaches to the estimation of quality indicators of coordinated dimensions of machine-building openings are determined and analyzed. The main aspects for the process of evaluating the quality of the dimensions of the apertures are determined using a new model of statistical methods. The main aspects of the accuracy of estimating the sizes of coordinated holes as a complex index are revealed. The basic causes of errors in the processing of coordinated holes during machining are determined and analyzed. Considered random errors that arise during the evaluation of indicators of coordinated holes for different types of processing. The standardized quality indexes of accuracy of sizes of apertures at processing by different methods are considered. The results of coordinated hole processing were analyzed using Pearson's agreement criterion. The model of quality evaluation using the parameters of statistical analysis is analyzed. The numerical characteristics of the proposed model of quality evaluation are obtained for different types of processing.

Key words: coordinated hole; characteristic; processing; Pearson criterion; model; size.

1. Вступ

Якість складальних одиниць, деталей і технологічних процесів у машинобудівному виробництві оцінюють на підставі даних розподілу в часі їх показників, що дає можливість оцінювати, прогнозувати і управляти технологічним процесом. Розсіювання дійсних значень показників якості, як випадкових величин, описується моделлю (законом) розподілу, що характеризується параметрами та її числовими характеристиками. Побудова та ідентифікація моделей за експериментальними даними, займає центральне місце при управлінні якістю статистичними методами. Точність більшості виробів машинобудування та приладобудування є найважливішою характеристикою їх якості, так як сучасні машини не можуть функціонувати при недостатній точності їх виготовлення в зв'язку з виникненням додаткових динамічних навантажень і вібрацій, що порушують нормальну роботу машин і викликають їх руйнування [6]. Важливе значення має забезпечення точності на всіх етапах життєвого циклу продукції. Так, наприклад, підвищення точності вихідних заготовок знижує трудомісткість механічної обробки, зменшує розміри припусків на обробку заготовок і призводить до зменшення сил в зоні різання, вібрацій і температур, що, безумовно, впливає на якість виготовлення деталей.

Математична статистика була тією науковою базою, на якій почали проводити перші дослідження точності технологічних процесів. Першим кроком в цьому напрямку було вивчення кривих розподілу. Вид кривої розподілу розмірів (лінійних, діаметральні, кутових) при обробці деталей на верстаті, що попередньо налаштований, залежить від характеру похибки. Розподіл систематичних похибок, що закономірно змінюються, відбувається за різними законами, залежно від характеру зміни похибок.

2. Мета роботи

Метою досліджень в роботі є визначення показників точності розмірів при обробці координованих отворів за допомогою статистичних методів як в приладобудуванні так і в інших галузях машинобудування.

3. Методика дослідження

Для оперативного визначення моделі розсіювання параметрів якості в механоскладальному виробництві необхідно ефективно використовувати статистичну інформацію. Існують кілька моделей для визначення розподілу. Один з них заснований на математичному аналізі, основою якого є підбір підходящої функції для опису емпіричного розподілу. За допомогою різних критеріїв згоди (Колмогорова, Пірсона та ін.) визначають наскільки правильно ця функція описує розподіл, що досліджується. Інший підхід заснований на тому, що кожному теоретичному закону розподілу відповідає цілком певні умови функціонування технологічних процесів. При цьому знаючи ці умови, можна знайти відповідні їм закони розподілу.

Можна сказати, що обидва підходи не завжди можливо застосувати, так як для першого підходу необхідно великі обсяги статистичної інформації, і найголовніше, що згода емпіричних розподілів з теоретичним не гарантує адекватності моделі. Так як умови функціонування постійно змінюються, а сам технологічний процес механічної обробки і збірки не стаціонарен, то другий підхід вимагає повної визначеності, що практично завжди відсутній.

Для вирішення цього завдання - визначення моделі розподілу параметрів якості необхідно застосувати комплекс різних методів на різних етапах її рішення в залежності від кількості існуючої інформації про показники якості, як в вигляді знання фізичної суті процесу розсіювання, так і у вигляді обсягу вибірки.

4. Точність координованих отворів в машинобудуванні, як випадкової величини

Статистичні дослідження, що накопичилися за багато років в машинобудівній промисловості, вказують, що точність деталей, оброблених на одному і тому ж верстаті, різна. Навіть при обробці однієї деталі її розмір в різних перетинах виявляється неоднаковим через похибки форми.

Основними причинами виникнення похибок обробки є виробничі фактори, якими неминуче супроводжується виконання кожної операції технологічного процесу. Основні джерела похибок обробки - верстат, пристосування, заготівля і інструмент, процес різання, кваліфікація робітника та ін. Похибки, що виникають при механічній обробці, можна розбити на три категорії: систематичні постійні, систематичні, що закономірно змінюються і випадкові [2]. Систематичні постійні похибки не змінюються за величиною при обробці однієї або декількох партій заготовок. Систематичні постійні похибки можуть бути виявлені пробними вимірюваннями декількох оброблених деталей. Ці похибки зводяться до бажаного мінімуму відповідними технологічними заходами (усуненням геометричних похибок – верстата, пристосування та інструменту, а також зміною умов виконання даної технологічної операції).

Серед найбільш поширених нормованих показників якості машинобудівного виробництва є точність розміру, точність форми і точність взаємного розташування поверхонь. Ці показники, в основному, визначають якість виробу, якість роботи технологічного обладнання і якість технологічних процесів в машинобудівному виробництві. Випадкові похибки виникають в результаті дії великої кількості не пов'язаних між собою факторів. Випадкова похибка може мати різне значення, визначити заздалегідь момент появи і точну величину цієї похибки для кожної конкретної деталі в партії не представляється можливим.

Прикладами випадкових похибок можуть бути похибки установки заготовок на верстаті, похибки настройки верстата на розмір, похибки обробки, що викликаються пружними віджатию елементів технологічної системи під впливом нестабільних зусиль різання, а також похибки форми оброблюваних поверхонь тонкостінних деталей, обумовлені мінливістю затискного зусилля.

Незважаючи на те, що визначення випадкової похибки для кожної деталі в партії практично нездійсненно, можна встановити межі зміни цієї похибки.

Головним показником якості координованих отворів є їх точність. Під точністю координованих отворів мається на увазі точність розмірів між отвором і базою або між двома або декількома отворами, а також позиційне відхилення їх осей.

Точність координованих отворів відносяться до комплексних параметрам точності, так як є результатом спільного прояву багатьох чинників. Так, наприклад, позиційне відхилення осей координованого отвори залежить від неоднорідності оброблюваного матеріалу, різної твердості, похибки ріжучого інструменту, похибки заточування різального інструменту, що не оптимальності режимів різання, що не сталості температур в зоні різання і ін.

Так як точність координованих отворів не може бути нескінченною величиною, то, як гіпотезу, пропонується розглядати закон з щільністю розподілу:

$$f(r) = \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{r_b^{2+\alpha}} r(r_b - r)^\alpha, \quad (\alpha > -1) \quad (1)$$

де r_b – масштабний параметр, α – параметр форми.

Модель (1) належить до кривих Пірсона I типу, що вже частково робить модель (1) близькою до «істинної».

Функція розподілу випадкової величини R:

$$\begin{aligned} F(r) &= \int_0^r f(r) dr = \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{r_b^{2+\alpha}} \int_0^r r(r_b - r)^\alpha dr = \frac{(1 + \alpha)(2 + \alpha)}{r_b^{2+\alpha}} \int_0^r (r - r_b + r_b)(r_b - r)^\alpha dr = \\ &= \frac{(1 + \alpha)(2 + \alpha)}{r_b^{2+\alpha}} \left[-\frac{r_b(r_b - r)^{\alpha+1}}{\alpha + 1} + \frac{(r_b - r)^{\alpha+2}}{\alpha + 2} \right] \Big|_0^r = \\ &= \frac{1}{r_b^{2+\alpha}} \left[-(\alpha + 2)r_b(r_b - r)^{\alpha+1} + (\alpha + 1)(r_b - r)^{\alpha+2} + (\alpha + 2)r - (\alpha + 1)r_b^{\alpha+2} \right] = \\ &= 1 - \frac{(r_b - r)^{\alpha+1}(r_b + (1 + \alpha)r)}{r_b^{2+\alpha}}, \end{aligned}$$

тобто

$$F(r) = \begin{cases} 0, & r \leq 0 \\ 1 - \frac{(r_b - r)^{\alpha+1}(r_b + (1 + \alpha)r)}{r_b^{2+\alpha}}, & 0 \leq r \leq r_b \\ 1, & r \geq r_b \end{cases} \quad (2)$$

Пропонована модель (2) має більшу перевагу над моделями кривих Пірсона I типу, так як вона має не інтегральний вид, як інші моделі кривих Пірсона I типу. Раніше модель (2)

Технологія машинобудування

застосовувалася для оцінки показників якості механічної обробки циліндричних деталей - торцевого і радіального биття [1; 2].

При заміні r/r_b на x модель (1) має окремий випадок β – розподілу, то для обчислення числових характеристик досить скористатися відомими [3] числовими характеристиками β – розподілу, пам'ятаючи що ці характеристики будуть мати множник r_b в необхідній мірі залежно від характеристики.

Випадкова величина має β – розподіл, якщо щільність розподілу с параметрами α, β ($\alpha > 0, \beta > 0$) має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} & , x \in [0,1] \\ 0 & , x \in [0,1] \end{cases} \quad (3)$$

Початковий момент k -го порядку для розподілу (3) виражається формулою:

$$M_{\xi^k} = \frac{\Gamma(\alpha + k)\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\alpha + \beta + k)},$$

де $\Gamma(x)$ – гамма функція.

Тоді для моделі оцінювання якості координованих отворів (1) початковий момент k -го порядку має вигляд:

$$M(R^k) = \frac{r_b^k (2 + \alpha)(1 + \alpha)\Gamma(k + 2)\Gamma(1 + \alpha)}{\Gamma(k + 3 + \alpha)}. \quad (4)$$

Звідси математичне сподівання випадкової величини R має вигляд:

$$M(R) = \frac{2r_b}{\alpha + 3}, \quad (5)$$

а дисперсія, яка виражається через початкові моменти формулою

$$D(R) = M(R^2) - [M(R)]^2$$

буде мати вигляд:

$$D(R) = \frac{2r_b^2(1 + \alpha)}{(\alpha + 3)^2(\alpha + 4)}. \quad (6)$$

Тоді середнє квадратичне $\sigma(R)$ буде мати вигляд:

$$\sigma(R) = \frac{r_b}{(\alpha + 3)} \sqrt{\frac{2(1 + \alpha)}{(\alpha + 4)}} \quad (7)$$

Звідси коефіцієнт варіації V визначається за формулою

$$V = \frac{\sigma(R)}{M(R)} = \frac{\sqrt{D(R)}}{M(R)}$$

буде мати вигляд:

$$V = \sqrt{\frac{1 + \alpha}{2(4 + \alpha)}} \quad (8)$$

Так як коефіцієнт варіації V для моделі (1) залежить тільки від параметра форми α , то замінюючи V на емпіричний коефіцієнт варіації V^* можна знайти оцінку параметра форми α .

Коефіцієнт асиметрії для β – розподілу (3) має вигляд:

$$\sqrt{\eta_1} = \frac{2(\beta - a)\sqrt{1 + \alpha + \beta}}{(2 + \alpha + \beta)\sqrt{\alpha\beta}}.$$

Тоді для моделі (2) коефіцієнт асиметрії обчислюється за формулою:

$$\sqrt{\eta_1} = \frac{2(\alpha - 1)\sqrt{4 + \alpha}}{(5 + \alpha)\sqrt{2(\alpha + 1)}} \quad (9)$$

Коефіцієнт ексцесу для β – розподілу (3) визначається за формулою:

$$\eta_2 = \frac{6[(\alpha - \beta)^2(\alpha + \beta + 1) - \alpha\beta(\alpha + \beta + 2)] + 3}{\alpha\beta(\alpha + \beta + 2)(\alpha + \beta + 3)},$$

тоді для моделі (2) коефіцієнт ексцесу має вигляд:

$$\eta_2 = \frac{6(\alpha + 4)(\alpha^2 + 2\alpha + 3)}{(\alpha + 1)(\alpha + 5)(\alpha + 6)} \quad (10)$$

Знайдемо моду моделі (2). Для цього знайдемо похідну функції щільності (1):

$$f'(r) = \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{r_b^{2+\alpha}} ((r_b - r)^\alpha - \alpha r (r_b - r)^{\alpha-1}) = \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)(r_b - r)^{\alpha-1}}{r_b^{2+\alpha}} (r_b - (1 + \alpha)r)$$

Тоді мода моделі (2) визначається виразом:

$$r_{\text{mod}} = \frac{r_b}{1 + \alpha} \quad (11)$$

Медіана випадкової величини R моделі (2) може бути знайдена з рішення рівняння щодо r

$$\frac{(r_b - r)^{\alpha+1} (r_b + (1 + \alpha)r)}{r_b^{\alpha+2}} = \frac{1}{2} \quad (12)$$

Знайдені числові характеристики для моделі (2) дозволять в подальшому використовувати їх для вирішення практичних завдань управління якістю, і створення нормативно-методичного забезпечення.

Використовуючи масові випробування точності координованих отворів [9-12] де автори наводять докладний доказ узгодження даного показника якості з нормальним розподілом, модуля різниці і ексцентриситету (Релея), був проведений аналіз даних випробувань за критерієм згоди Пірсона. Цей аналіз показав, що при рівні значущості $\varepsilon = 0,05$ всі масові випробування по точності координованих отворів узгоджуються з запропонованою моделлю (2). Але як уже зазначалося - узгодження не означає адекватність моделі. Тому для аналізу і порівняння застосуємо додатково і інші методи дослідження.

За вище наведених масовим випробувань були знайдені емпіричний квадрат асиметрії і емпіричний ексцес η_2 . Ці значення були нанесені на площину (η_1, η_2) . На цю площину була нанесена і крива залежності коефіцієнта ексцесу від квадрата коефіцієнта асиметрії запропонованої моделі (2), а також точка в площині належить розподілу Релея.

Технологія машинобудування

Отже, масові випробування по точності координованих отворів з використанням коефіцієнта ексцесу і квадрата асиметрії показують, що запропонована модель (2) точніше описує процес розсіювання досліджуваних величин точності розмірів координованих отворів, ніж інші моделі.

Висновки

Грунтуючись на фізичній сутності процесу розсіювання показників точності координованих отворів, запропонована нова модель його описує. Масові випробування по точності координованих отворів з використанням коефіцієнта ексцесу і квадрата асиметрії показують, що запропонована модель точніше описує процес розсіювання досліджуваних величин точності координованих отворів, ніж інші моделі. Знайдені числові характеристики для запропонованої моделі дозволять в подальшому використовувати їх для вирішення практичних завдань управління якістю, і створення нормативно-методичного забезпечення.

Список використаних джерел:

1. Gurevich V. *Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering* / V. Gurevich. – New York : CRC Press, 2008. – 418 p.
2. Попов С. А. Заточка режущего инструмента / С. А. Попов. – М., 2012. – 318 с.
3. Campbell F. C. *Manufacturing Processes For Advanced Composites* / F. C. Campbell. – USA : Elsevier Advanced Technology, 2004. – 533 p.
4. Cong W. L. Rotary ultrasonic machining of carbon fiber reinforced plastic composites: An experimental study on cutting temperature / W. L. Cong, Z. Xiatian, T. W. Deines // *Journal of reinforced plastics and composites*. – 2012. – N. 22, Vol. 31. – P. 1516-1525.
5. Ettinger W. J. Basis for Determining Manufacturing Tolerances / W. J. Ettinger, W. Bartky // *The Maschinist*. – 1936. – Vol. 80, No. 36. – P. 23-28.
6. Гугнін В. П. Метрологічне забезпечення та повірка засобів вимірювальної техніки фізичних величин / В. П. Гугнін, Г. О. Оборський. – Київ : Наука і техніка, 2011. – 220 с.
7. Лугінін О. С. Статистика: підручник / О. С. Лугінін. – Київ : Центр учбової літ., 2007. – 608 с.
8. Ламнауэр Н. Ю. Модель поля рассеивания погрешности геометрической формы и ошибки взаимного расположения поверхностей / Н. Ю. Ламнауэр, Р. М. Трищ // *Вісник нац. техн. ун-ту «ХПІ»* : зб. наук. пр. – Харків, 2004. – № 44. – С. 106-110.
9. Ламнауэр Н. Ю. Оценка радиального биения деталей в машиностроении / Н. Ю. Ламнауэр, Р. М. Трищ // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2005. – № 1/2 (13). – С. 76-78.
10. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента / П. Г. Кацев. – М. : Машиностроение, 1974. – 231 с.
11. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я. Д. Колкер. – Киев : Техніка, 1976. – 200 с.
12. Иванов В. В. К вопросу точности обработки координированных отверстий на агрегатных станках / В. В. Иванов, Э. А. Пашченко, В. А. Чепела // *Вестник ХПИ. Сер. Машиностроение*. – 1979. – № 158. – С. 17-21.

References

1. Gurevich, V 2008, *Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering*, CRC Press, New York.
2. Popov, S 2012, *Zatochka rezhushchego instrumenta*, Moskva.
3. Campbell, F 2004, *Manufacturing Processes For Advanced Composites*, Elsevier Advanced Technology, USA.
4. Cong, W, Xiatian, Z & Deines, T 2012, 'Rotary ultrasonic machining of carbon fiber reinforced plastic composites: An experimental study on cutting temperature', *Journal of reinforced plastics and composites*, no. 22, vol. 31, pp. 1516-1525.
5. Ettinger, W & Bartky, B 1936, 'Basis for Determining Manufacturing Tolerances', *The Maschinist*, vol. 80, no. 36, pp. 23-28.
6. Huhnin, V & Oborskyi, H 2011, *Metrolohichne zabezpechennia ta povirka zasobiv vymiriuvanoi tekhniky fizychnykh velychyn*, Nauka i tekhnika, Kyiv.
7. Luhinin, O 2007, *Statystyka*, Tsentr uchbovoi lit., Kyiv.
8. Lamnauer, N & Trishch, R 2004, 'Model polya rasseivaniya pogreshnosti geometricheskoy formy i oshibki vzaimnogo raspolozheniya poverkhnostey', *Visnyk nats. tekhn. un-tu "KhPI"*, no. 44, pp. 106-110.
9. Lamnauer, N & Trishch, R 2005, 'Otsenka radialnogo biyeniya detaley v mashinostroyenii', *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, no. 1/2 (13), pp. 76-78.
10. Katsev, P 1974, *Statisticheskiye metody issledovaniya rezhushchego instrumenta*, Mashinostroyeniye, Moskva.
11. Kolker, Ya 1976, *Matematicheskiy analiz tochnosti mekhanicheskoy obrabotki detaley*, Tekhnika, Kiev.
12. Ivanov, V, Pashchenko, E & Chepela, V 1979, 'K voprosu tochnosti obrabotki koordinirovannykh otverstykh na agregatnykh stankakh', *Vestnik KhPI. Ser. Mashinostroyeniye*, no. 158, pp. 17-21.

Стаття надійшла до редакції 31 травня 2018 р.