

УДК 519.874

А. П. ТАРАСЮК, Н. Ю. ЛАМНАУЕР

## ДО ПИТАННЯ АНАЛІЗУ ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦЯ

Розв'язується задача технології машинобудування, яка стосується аналізу точності технологічного процесу обробки. Запропоновано новий метод знаходження оцінок параметрів моделі розподілу випадкової величини – розміру. Надано формулу для розрахунку максимального відсотку якості деталей при обробці за застосованою технологією. Знайдені оцінки пропонуються використовувати в розрахунковій формулі для аналізу точності процесу обробки за показником, що досліджується. Результати досліджень застосовувалися для оцінки якості процесу обробки пальця поршня автомобіля ВАЗ.

**Ключевые слова:** якість, точність, розмір, обробка, аналіз.

**Вступ.** Аналіз якості технологічних процесів є важливим питанням, що розглядається в технології машинобудування. Забезпечення необхідної точності розміру деталей, як одного з показників якості, має велике значення при виготовленні машинобудівної продукції. Точність діаметрального розміру поршневого пальця не є виключенням. Поршневий палець виконує роль шарніра, тобто за його допомогою поршень з'єднується з верхньою головкою шатуна, завдяки чому шатун під час роботи двигуна набуває коливального руху відносно поршня. Палець виготовляють у вигляді порожнистого циліндричного стержня, зовнішню поверхню якого загартовують струмами високої частоти.

Для вирішення задач, що пов'язані з аналізом точності технологічних процесів обробки за параметром розміру широке застосування мають ймовірно-статистичні методи. Вони дозволяють за невеликою кількістю вимірювань робити висновок про якість процесу. Ймовірно-статистичні моделі розподілу випадкової величини – розміру деталей та оцінки їхніх параметрів дозволяють розраховувати такі показники якості процесів, як коефіцієнт точності та коефіцієнт налагодженості процесу [1]. Тому, чим точніша модель застосовується та чим оцінки її параметрів є кращими, тим точніше аналіз якості технологічного процесу можливо провести.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** З огляду робіт вітчизняних та закордонних вчених [1,2] впливає, що для розподілу випадкової величини розміру застосовувалися симетричні закони. В [1] пропонуються розрахункові формули для аналізу точності та налагодженості технологічного процесу з урахуванням математичного очікування. Але з робіт [2,3] впливає, що цей розподіл не є симетричним. Запропонована в [4,5] несиметрична загальна модель розподілу має такі параметри, як нижню та верхню границі розміру, моду, параметр форми кривої щільності розподілу. Знайдені оцінки параметрів моделі в [4,5,6] за методами моментів, порядкових статистик й дисперсій, сплайн-апроксимації дозволили застосовувати її для рішення технологічних задач. Так в [5] запропоновано розрахунок нових формул коефіцієнтів: відносно асиметрії, точності та налагодженості технологічного процесу.

**Метою** даної статті є запропоновання оцінок параметрів моделі розподілу випадкової величини – розміру, з використанням методу зі застосуванням початкових моментів порядкових статистик. З використанням цих оцінок запропонувати розрахункову формулу для аналізу якості технологічного процесу обробки, а саме максимального відсотку якості, що може забезпечити ця технологія. Результати досліджень застосовувати для аналізу якості технології обробки поршневого пальця автомобіля ВАЗ.

**Постановка проблеми.** Дослідження представленої роботи стосуються аналізу точності технологічного процесу обробки. Модель розподілу лінійного розміру та оцінки її параметрів, що представлені в [4,5,6], дозволили отримати формули аналізу точності технологічного процесу обробки за параметром, що досліджується [5]. Але ці методи оцінок параметрів не застосовували початкові моменти порядкових статистик, які дають змогу отримати більш повну інформацію про вибірку, тому що мають ентропію, яка дорівнює нулю. Знаходження оцінок параметрів за допомогою методу з використанням початкових моментів порядкових статистик дасть можливість мати більш точні оцінки та за їхньою допомогою розраховувати коефіцієнти точності та налагодженості технологічного процесу обробки.

**Наукові дослідження.** В роботах [5,6] показано, що в побудованій загальній моделі розподілу лінійних розмірів можливо виразити її параметри за допомогою заміни модального значення  $a$  через  $a = (b + cq) / (1 + q)$ , де  $a$  виражається через безрозмірну величину  $q = (a - b) / (c - a) > 0$ . Ця заміна дозволяє записати щільність розподілу випадкової величини - розміру  $x$  у вигляді:

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

та функцію розподілу:

©А. П. Тарасюк, Н. Ю. Ламнауер, 2015

$$F(x) = \begin{cases} \frac{k \left[ \frac{b-x+q(c-x)}{q(c-b)} \right]^{-k} (b+q-x-xq)}{(1+q)(c-b)} + \frac{[(1+q)(x-b+lx) - k(b+q)]}{(1+q)(c-b)} & \text{при } b \leq x \leq \frac{b+q}{1+q}; \\ \frac{k \left[ \frac{b-x+q(c-x)}{c-b} \right]^{-k} (b+q-x-xq)}{(1+q)(c-b)} + \frac{[(1+q)(x-b+lx) - k(b+q)]}{(1+q)(c-b)} & \text{при } \frac{b+q}{1+q} < x \leq c \end{cases} \quad (2)$$

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

Для оцінки параметрів застосуємо порядкові статистики [7], оскільки вони мають ентропію, що дорівнює нулю, а це означає, що мається можливість отримати максимальну інформацію про вибірку [8].

Якщо ми маємо вибірку об'єму  $n$ , то щільність розподілу  $i$ -ої порядкової статистики визначається формулою:

$$y_n(x_{(i)}) = n C_{n-1}^{i-1} [F(x)]^{i-1} [1 - F(x)]^{n-i} f(x). \quad (3)$$

Звідси, математичне очікування  $i$ -ої порядкової статистики з вибірки об'єму  $n$  визначається для моделі (1) у вигляді:

$$\mu_{i:n} = \int_b^a x y_n(x_{(i)}) dx + \int_a^c x y_n(x_{(i)}) dx \quad (4)$$

Вивчаючи властивості математичного очікування  $i$ -ої порядкової статистики (3) було встановлено, що для одного об'єму вибірки  $n$  різниці  $\mu_{i:n} - \mu_{j:n}$  ( $i \neq j$ ) має множник  $c - b$ . Це дозволяє у відношенні цих різниць виключити параметри  $c$  та  $b$ . Маючи незміщені спроможні оцінки математичних очікувань  $i$ -ої порядкової статистики вибірки об'єму  $j$  за результатами варіаційного ряду об'єму  $n$ :

$$\tilde{\mu}_{i,j} = \frac{1}{C_n^j} \sum_{l=i}^{n+i-j} C_{l-1}^{i-1} C_{n-i}^{j-i} x_{(l)}, \quad (5)$$

можна визначити оцінки параметрів моделі (1)  $k$  та  $q$  з розв'язання системи:

$$\begin{cases} (\mu_{5,5} - \mu_{1,5}) / (\mu_{4,5} - \mu_{3,5}) = (\tilde{\mu}_{3,5} - \tilde{\mu}_{1,5}) / (\tilde{\mu}_{4,5} - \tilde{\mu}_{3,5}); \\ (\mu_{3,3} - \mu_{2,3}) / (\mu_{1,2} - \mu_{1,3}) = (\tilde{\mu}_{3,3} - \tilde{\mu}_{2,3}) / (\tilde{\mu}_{1,2} - \tilde{\mu}_{1,3}). \end{cases} \quad (6)$$

Вибір об'єму 5 для математичних очікувань порядкових статистик пов'язано для систем (6) з тим, що модель має 4 параметри та додатково необхідно мати хоч ще один параметр свободи.

Оцінка параметрів  $b$  та  $c$  може бути знайдена з розв'язання системи за знайденими значеннями параметрів  $k$  та  $q$ :

$$\begin{cases} \mu_{1,2} - \mu_{1,3} = \tilde{\mu}_{1,2} - \tilde{\mu}_{1,3}; \\ \frac{3kb + kbq + b + bq + 3kqc + kc + c + qc}{2(1+q)(2k+1)} = \bar{x}, \end{cases} \quad (7)$$

де ліва частина другого рівняння є математичне очікування моделі (1), а його права частина – вибіркоче середнє результатів вимірювань розмірів.

З заміни  $a = (b + cq) / (1 + q)$  знаходимо оцінку параметра  $\tilde{a}$  за знайденими оцінками параметрів  $b$ ,  $c$  та  $q$ .

Для розв'язання системи (6), (7) та оцінки параметра  $\tilde{a}$  в системі Maple складена комп'ютерна програма. Використовуючи цю програму для моделі (1) та метод статистичного моделювання було встановлено, що при навмання взятих параметрах:  $b = 1$ ,  $a = 2$ ,  $c = 8$  та  $k = 0,5$  при об'ємах вибірки  $n = 10$  в кількості 100 штук, оцінки, отримані цим методом, є кращими, ніж раніше отримані іншими методами. Тобто середнє цих оцінок близько до заданих значень та дисперсія цих оцінок менша за дисперсію раніше отриманих.

Була поставлена задача: за результатами 68 вимірювань зовнішнього діаметру пальця поршня ВАЗ проаналізувати отримані результати та зробити висновок про якість технології виготовлення пальця. За результатами вимірювань були знайдені числові характеристики випадкової величини за вибіркою діаметра пальця, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Числові характеристики діаметра пальця

Середнє значення $\bar{x}$	21,97598676
Емпіричний стандарт $S$	0,00164443
Коефіцієнт асиметрії $As$	0,39846036
Коефіцієнт ексцесу $Es$	2,53842767

З таблиці видно, що розподіл розмірів діаметрів несиметричний та має малий розкид, й форма розподілу близька до трикутної. Застосовуючи загальний закон розподілу розмірів (1), знайдемо його параметри за запропонованим методом із застосуванням (6) та (7). З використанням програми в системі Maple були визначені параметри моделі:  $k = 0,7097052$ ;  $q = 0,2982125$ ;  $b = 21,9722196$ ;  $a = 21,9739268$ ;  $c = 21,9796517$ . Функція щільності розподілу зовнішнього діаметру пальця представлена на рисунку 1.

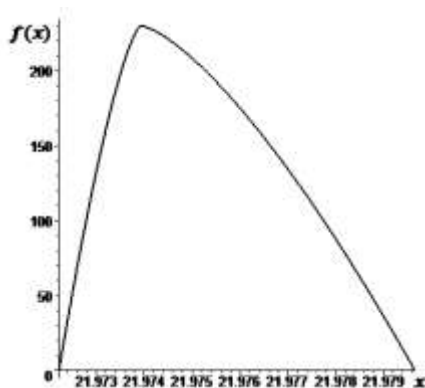


Рис. 1 - Графік щільності розподілу зовнішнього діаметра пальця

**Результати досліджень.** Використовуючи критерій Колмогорова [9] і функцію розподілу (2) за знайденими параметрами моделі (1) та результатами досліджень зовнішнього діаметра пальця було встановлено, що при рівні значущості  $\alpha = 0,05$  результати узгоджуються із запропонованим законом.

Отримана модель дозволяє одержати формулу для визначення максимального відсотку якості, що може забезпечити застосована технологія обробки:

$$\Delta \cdot 100\% = \frac{T}{c-b} \left[ 1 + k - k \left( \frac{T}{c-b} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \cdot 100\% , \quad (8)$$

де  $T$  - допуск розміру,  $c$  та  $b$  - відповідно нижня та верхня прогнозовані границі розміру,  $k$  - параметр форми моделі розподілу розміру.

Аналіз якості технології виготовлення пальця поршня ВАЗ за запропонованою формулою (8) дає такий відсоток:  $\Delta \cdot 100\% = 80,35\%$ . Відсоток розмірів пальців, що належить полю допуску, дорівнює 67,94%. Це свідчить про те, що настройка станка проводилася для застосованої технології неправильно та, що є можливість отримати більш високий відсоток якості. Для отримання максимальної якості при застосованій технології був розрахований розмір, на який необхідно настроювати станок, що дорівнює 21,9762 мм, тобто на 0,001 мм більше, ніж розмір, на який була проведена настройка – 21,9752 мм.

#### Висновки.

1. Запропоновано метод оцінки параметрів моделі розподілу випадкової величини розміру з використанням математичних очікувань порядкових статистик, які мають ентропію, що дорівнює нулю, а це дає змогу отримати максимальну інформацію про вибірку.

2. Одержано формулу розрахунку максимального відсотка якості деталей за параметром лінійного розміру для аналізу якості технології обробки.

3. Пропонується використовувати отримані оцінки параметрів моделі розподілу випадкової величини – лінійного розміру у формулі розрахунку відсотку якості.

4. Застосування результатів теоретичних досліджень на прикладі вибірки деталей – пальців поршня довело, що настройка станка при обробці пальця проводилася невірно.

5. Розраховано значення величини розміру, на який необхідно настроювати станок при обробці поршневого пальця при існуючій технології.

**Список літератури:** 1. Косилова А.Г. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х томах [Текст] / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, М: Машиностроение, - 1986. – 656 с. 2. Маталін А.А. Технологія машиностроєння: Учебник для машиностроїтельних вузів по спеціальності «Технологія, металорежущі станки і інструменти» [Текст] / А.А. Маталін. - Л.: Машиностроєння, Ленінгр. отд-ние, 1985. - 496с. 3. Бородачев Н. А. Точність виробництва в машиностроєнні і приборостроєнні [Текст] / Н.А. Бородачев, Р.М. Абдрашитов і др. - М.: Машиностроєння, 1973г.- 567 с. 4. Ламнауєр Н.Ю. Распределение размеров изготовления изделий [Текст] / Н.Ю. Ламнауєр // Високи технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Харків, НТУ «ХПІ», 2012. –Вип.1(22). – С.177-181. 5. Ламнауєр Н.Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки [Текст] / Н.Ю. Ламнауєр // 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. Ламнауєр Н.Ю. Загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та її застосування для поліпшення якості виробів [Текст] / Н.Ю. Ламнауєр // 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. 7. Дейвид Г. Порядковые статистики пер. с англ. под ред. В. В. Петрова [Текст] / Г. Дейвид – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. -336с. 8. Ефимов А. Н. Порядковые статистики — их свойства и приложения [Текст] / А.Н. Ефимов,- М: Знание, 1980. - 64 с. 9. Крамер Г. Математические методы статистики: Пер. с англ. Под ред. А. Н. Колмогорова [Текст] / Г. Крамер. –М.: «Мир». -1976. – 623 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kosilova, A.G. *Spravochnik tekhnologa – mashinostroitel'ya*, 1986. Print. 2. Matalin A.A. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 1985. Print. 3. Borodachev N.A. *Tochnost proizvodstva v mashinostroenii i priborostroenii*, 1973. Print. 4. Lamnauer, N.Y. *Raspredelenie razmerov izgotovleniya izdeliy*. Visoki tekhnologii v mashinobuduvanni NTU «KhPI», 2012. Print. 5. Lamnauer, N.Y. *Model raspredeleniya razmerov izdeliy I ee primeneniye Tochnost proizvodstva v mashinostroeniidlya ochenki tochnosti obrabotki*. Visnik NTU «KhPI», 2012. Print. 6. Lamnauer, N.Y. *Zagalna model rozpodilu liniyних rozmiriv detaley ta yiyi zastosuvannyadlya polipshennya yakosti virobiv*. Visnik NTU «KhPI», 2012. Print. 7. Deyvid, G. *Poryadkovye statistiki*, 1979. Print. 8. Efimov A.N. *Poryadkovye statistiki – ih svoystva i prilozheniya*, 1980. Print. 9. Kramer G. *Matematicheskie metody statistiki*. 1976. Print.

Поступила (received) 12.10.15

**Тарасюк Анатолій Петрович** – док. техн. наук, проф. УІПА, м. Харків, тел.: (057)-733-78-26, e-mail: [tarasyuk@uipa.edu.ua](mailto:tarasyuk@uipa.edu.ua);

**Tarasiuk Anatolii Petrovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, tel.: (057)-733-78-26, e-mail: [tarasyuk@uipa.edu.ua](mailto:tarasyuk@uipa.edu.ua);

**Ламнауєр Наталія Юрїївна** – канд. техн. наук, доц. УІПА, м. Харків, тел.: (057)-733-78-18, e-mail: [lamnaouernatali@mail.ru](mailto:lamnaouernatali@mail.ru);

**Lamnauer Nataliia Yuriivna** – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, tel.: (057)-733-78-18, e-mail: [lamnaouernatali@mail.ru](mailto:lamnaouernatali@mail.ru).