

ДІАГНОСТИКА БЕЗВІДМОВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ, ЩО ВИМІРЮЮТЬСЯ

Розв'язується задача технології машинобудування, яка стосується контролю, управління та діагностики технологічних систем. Запропоновано нову формулу розрахунку безрозмірного показника якості технологічної системи з урахуванням номінальних значень вимірювальних характеристик якості виробів машинобудування. Знайдені оцінки параметрів моделей безрозмірного показника якості технологічної системи. Результати досліджень застосовувалися для створення методики оцінки безвідмовності технологічної системи за показниками, що вимірюються

Ключові слова: якість, безвідмовність, надійність, діагностика, технологічна система.

Вступ. Досягнення якості технологічних систем (ТС) можливе тільки за допомогою їхнього контролю, управління та діагностики, що й являє собою одне з важливіших питань технології машинобудування.

Якість технологічної системи включає в себе таке поняття, як її надійність, що є комплексною властивістю. Надійність технологічної системи, в свою чергу, містить поняття безвідмовності.

У відповідності до існуючих стандартів непрацездатний стан технологічної системи – це такий стан, при якому значення хоча б одного параметра чи показника якості продукції, що виготовляється, продуктивності, матеріальних та вартісних витрат на виготовлення продукції, не відповідає вимогам, що встановлені нормативно-технічною, конструкторською й технологічною документацією. В свою чергу, непрацездатний стан технологічної системи за параметрами продукції – це стан технологічної системи, при якому значення хоча б одного параметра чи показника якості продукції, що виготовляється, не відповідає вимогам, що встановлені в нормативно-технічній, конструкторській і технологічній документації. Тому, для забезпечення випуску якісної продукції, розв'язання задач діагностування ТС має важливе значення.

Аналіз останніх досліджень та літератури. З огляду робіт вітчизняних вчених [1, 2, 3], впливає, що розробці нових методів діагностування якості ТС приділяється велика увага. Питання діагностики та оцінки надійності й безвідмовності в техніці не залишаються поза увагою й закордонних авторів [4, 5]. Однак, деякі питання в цьому напрямку не достатньо вивчені, в зв'язку з чим дослідження необхідно продовжити. Так, в роботах [1, 2] та [3, 6] для моделі якості системи у часі був введений безрозмірний параметр, який дозволяє порівнювати різні показники якості. Цей показник може бути застосований тільки при симетричних відхиленнях відносно середини поля допуску й не може застосовуватися для несиметричних відхилень відносно номінальних значень. В роботах [7,8,9], пропонується безрозмірний показник якості ТС, який може застосовуватися для симетрич-

них та несиметричних відхилень відносно номінального розміру. Однак, це нормування не враховує номінальне значення параметра якості.

Метою даної статті є запропонування розрахованої формули для знаходження нормованих безрозмірних параметрів якості з урахуванням номінального показника для моделі безвідмовності ТС, а також розроблення методики розрахунку її безвідмовності за параметрами якості, що досліджується.

Постановка проблеми. Дослідження представленої роботи стосуються аналізу якості та управління ТС. Нормування параметрів якості в [7, 8, 9], тільки дозволяє визначити, який з нормованих параметрів якості ТС виходить за межі інтервалу від мінус одиниці до одиниці та час виходу параметра за ці межі. Таким чином, неможливо здійснювати управління процесом ТС, тобто тільки констатується факт виходу за вказані границі. Для аналізу та діагностики ТС в деяких випадках необхідно знати, як поводить себе номінальний показник якості в часі t .

Наукові дослідження. Як показали дослідження в [7, 8, 9], було запропоновано формули нормування показника якості ТС без врахування номінального параметра, тому було запропоновано формулу нормування безрозмірного показника якості ТС у часі t :

$$r_i(t) = \begin{cases} (x_i(t) - x_{i,o}) / (x_{i,2} - x_{i,o}), & x_{i,o} \leq x_i(t) \leq x_{i,2}, \\ (x_i(t) - x_{i,o}) / (x_{i,o} - x_{i,1}), & x_{i,1} \leq x_i(t) \leq x_{i,o}, \end{cases} \quad (1)$$

де $x_i(t)$ - значення нормованого i -го показника якості в момент часу t , $x_{i,o}$ - оптимальне (номінальне) значення i -го показника, $x_{i,1}$ - нижня межа i -го показника якості системи, $x_{i,2}$ - верхня межа i -го показника якості системи.

В роботах [1, 2, 3, 6, 8] пропонувалися різні оцінки параметрів моделей безрозмірного показника якості ТС. Ці моделі для будь-якого i -го показника якості мають вигляд:

$$f(r) = \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{r_k^{2+\alpha}} (r-r_0)(r_0+r_k-r)^\alpha \quad (2)$$

$$f(r) = \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{r_k^{2+\alpha}} (r-r_0)^\alpha (r_0+r_k-r), \quad (3)$$

де $\alpha > -1$ і $r \in [r_0, r_0+r_k]$, α - параметр форми моделі, r_0 - нижня межа безрозмірного показника якості, r_k - теоретичний розмах безрозмірного показника, r - величина безрозмірного показника якості.

Для параметрів цих моделей можливо знайти й інші оцінки, які можуть бути кращими, тобто близькі до оптимальних.

Для отримання оцінок моделі (2) прийемо, що середнє вибіркоче значення \bar{r} нормованих значень співпадає з математичним сподіванням $M(R) = r_0 + 2r_k / (\alpha + 3)$. Квадрат стандартного відхилення S^2 співпадає з теоретичною дисперсією $D(R) = 2(\alpha + 1)r_k^2 / [(\alpha + 3)^2(\alpha + 4)]$, а найменше вибіркоче значення $r_{(1)}$ з математичним сподіванням першої порядкової статистики вибірки об'єму n :

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

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

Для знаходження оцінки параметра форми α моделі (2) необхідно розв'язати рівняння:

$$\frac{\bar{r} - r_{(1)}}{S} = \frac{(M(R) - \mu_{1:n})(\alpha + 3)}{r_k} \sqrt{\frac{\alpha + 4}{2(\alpha + 1)}} \quad (4)$$

Оцінка параметра масштабу r_k визначається за знайденим параметром форми α , за формулою:

$$\hat{r}_k = S(\alpha + 3) \sqrt{\frac{\alpha + 4}{2(\alpha + 1)}}, \quad (5)$$

а оцінка параметра r_0 має вигляд:

$$\hat{r}_0 = \bar{r} - 2\hat{r}_k / (\alpha + 3). \quad (6)$$

Для отримання оцінок моделі (3) прийемо, що середнє вибіркоче значення \bar{r} співпадає з математичним сподіванням моделі (3): $M(R) = r_0 + (1+\alpha)r_k / (\alpha + 3)$. Квадрат стандартного відхилення S^2 співпадає з теоретичною дисперсією моделі (2), а найбільше вибіркоче значення $r_{(n)}$ з математичним сподіванням останньої порядкової статистики:

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

вибірки об'єму n .

Для оцінки параметра форми α необхідно розв'язати рівняння відносно α :

$$\frac{r_{(n)} - \bar{r}}{S} = \frac{(\mu_{n:n} - M(R))(\alpha + 3)}{r_k} \sqrt{\frac{\alpha + 4}{2(\alpha + 1)}} \quad (7)$$

Оцінка масштабного параметра визначається за формулою (5), а оцінка нижньої межі має вигляд:

$$\hat{r}_0 = \bar{r} - (1+\alpha)\hat{r}_k / (\alpha + 3). \quad (8)$$

Параметри моделей (2) та (3) значно відрізняються один від одного в залежності від нормування безрозмірних показників.

Проводивши статистичний аналіз з використанням метода Монте-Карло ста вибірок з об'ємом $n = 20$ для двох моделей з оцінками, знайденими в роботах [1,2,3,6,8], показано, що для моделі (2) кращими оцінками є оцінки (4), (5) та (6) в порівнянні з раніше отриманими оцінками. Ці оцінки дали меншу дисперсію нижньої та верхньої межі й наближені до заданих значень. Для моделі (3) за розкладом виявились кращими оцінки, які використовують формули (7), (5) та (8).

Запропоновані часові безрозмірні моделі якості ТС (2) та (3), й знайдені для них оцінки параметрів на основі розроблених методів, що використовують математичні очікування першої та останньої порядкових статистик, дозволяють запропонувати метод визначення показника якості ТС.

В роботах [7,9] запропонована інша модель показника якості ТС, яка має вигляд:

$$f(r) = k^3(r-a)(b-r)e^{kr} / (e^{kb}(kb-ka-2) + e^{ka}(2+kb-ka)) \quad (a \leq r \leq b), \quad (9)$$

та знайдені оцінки її параметрів.

Оскільки загальна модель розподілу лінійних розмірів [10,11] має верхню та нижню межі та різну форму розподілу, та для неї знайдені оцінки параметрів за результатами експериментів, то для оцінки безрозмірного показника якості ТС можна застосовувати й загальну модель розподілу лінійних розмірів.

Результати досліджень. Використовуючи запропоновані моделі та знайдені оцінки їхніх параметрів, стає можливим запропонувати методику безвідмовності ТС за показниками якості, що досліджуються.

Методика розрахунку безвідмовності ТС полягає в наступному:

1. За результатами 5 – 10 вимірювань в визначені моменти часу t знаходимо значення кожного i -го показника якості ТС.

2. Використовуючи формулу (1), проводимо нормування кожного i -го показника якості в визначені моменти часу t .

3. Для кожного визначеного моменту часу t та кожного i -го показника якості ТС використовуємо чотири запропоновані моделі, й знаходимо для них оцінки нижньої та верхньої межі безрозмірного показника якості.

4. Для моделі (2) застосовуємо формули (4), (5) та (6), а для моделі (3) - формули (7), (5) та (8). Оцінки параметрів розташування для моделі (9) знаходимо з програми в системі Maple, складеної з розрахунко-

вих формул, поданих в [7,9]. Застосовуючи модель лінійного розміру для безрозмірного параметру, знаходимо її оцінки з [10,11].

5. Отримавши для чотирьох моделей оцінку нижнього та верхнього безрозмірного параметра i -го показника якості в задані моменти часу t та побудувавши для кожної моделі інтерполяційний многочлен за точками верхньої та нижньої меж окремо, знаходимо, при якому значенні t ці многочлени дорівнюють плюс одиниці та мінус одиниці.

6. З отриманих чотирьох значень часу t , що співпадають з плюс одиницею, знаходимо найменший час - T_1 , а з чотирьох значень, що співпадають з мінус одиницею, також знаходимо найменший час - T_2 .

7. Визначаючи $T_i = \min(T_1, T_2)$, знаходимо величину безвідмовності i -го показника ТС.

8. Величину безвідмовності ТС визначаємо як $T = \min_{1 \leq i \leq m} T_i$, де m - кількість показників якості ТС.

Висновки.

1. Запропоновано розрахункову формулу для безрозмірного показника якості ТС з урахуванням номінального значення.

2. Для моделей безрозмірного показника якості (2) та (3) знайдені, найкращі з відомих, оцінки їхніх параметрів.

3. Для розрахунків формул оцінок параметрів моделей та часу безвідмовності ТС створені комп'ютерні програми в системі Maple.

4. Запропоновано нову методику оцінки безвідмовності ТС за параметрами якості, що досліджуються.

5. Отримані результати дозволяють вирішувати важливі питання технології машинобудування, що пов'язані з діагностуванням ТС.

Список літератури: 1. Куцин А.Н. Оценка качества технических систем [Текст] / А.Н. Куцин, Ю.И. Созонов // Сборка в машиностроении, приборостроении, М., 2004. - No7. - С.23-27. 2. Арпентьев Б.М. Параметрические показатели качества изделий [Текст] / Б.М. Арпентьев, Н.К. Резниченко // Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 7-го Международного научно-технического семинара. г. Свалява. - Киев: АТМ України, 2007. - С.5-9. 3. Резниченко Н.К. Безразмерный комплексный параметр качества технологической системы [Текст] / Н.К. Резниченко // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць. - Харків: НТУ «ХПІ», 2006. - Вип.1 (12) - С.417-423. 4. Tashatoush Ghassan M. Reliability Analysis of Car Maintenance Scheduling and Performance [Text] / Ghassan M. Tashatoush, Khalid K. Tashatoush, Mutaz A. Al-Muhtaseb, Ahmad T. Mayyas // Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2010. - Vol 4, Number 3, - PP 388 - 393. 5. Montgomery Douglas C. Applied Statistics and Probability for Engineers [Text] / Douglas Montgomery C. George C. Runger, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc.,

2003, - 157 pp. 6. Созонов Ю.И. Временная модель качества технологической системы [Текст] / Ю.И. Созонов, Н.Ю. Ламнауэр, О.С. Черкашина // Сучасні технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХПІ», 2010.-Випуск 4. - С. 257-263. 7. Ламнауэр Н.Ю. Расчет показателя качества технологической системы во времени [Текст] / Н.Ю. Ламнауэр // Восточно - Европейский журнал передовых технологий, 2009. -No6/7(42). - С.59-61. 8. Ламнауэр Н. Ю. Оценка безразмерного показателя качества технологических процессов в машиностроении [Текст] / Н.Ю. Ламнауэр, Ю.И. Созонов, О.С. Черкашина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010. - 6/4(48). -С.7-10. 9. Ламнауэр Н.Ю. Надежность технологической системы от точности изготовления изделия [Текст] / Н.Ю. Ламнауэр // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010. - 1/7(43). - С.19-22. 10. Ламнауэр Н.Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки [Текст] / Н.Ю. Ламнауэр // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. - Харків: НТУ «ХПІ», 2012. - No27.- С. 98-107. 11. Ламнауэр Н.Ю. Загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та її застосування для поліпшення якості виробів [Текст] / Н.Ю. Ламнауэр // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. - Харків: НТУ «ХПІ», 2013. - No54(1027).- С.134-143.

Bibliography (transliterated): 1. Kucin, A.N., Sozonov, Y.I. *Ocenka kachestva technicheskikh system*. Moscow: Sborka v mashinostroenii, priborostroenii, 2004. No7. - PP. 23-27. Print. 2. Arpentiev, B.M., Reznichenko, N.K. *Parametricheskie pokazateli kachestva izdeliy*. Kiev: Sovremennye problemi podgotovki proizvodstva, zagotovitel'nogo proizvodstva, obrabotki, sborki i remonta v promishlennosti I na transporte, 2007. - PP 5-9. Print. 3. Reznichenko, N.K. *Bezrazmerniy kompleksniy pokazatel kachestva technologicheskoy sistemi*. Kharkiv: Visoki technologii v machinobuduvanni NTU «Kh PI», 2006. -PP 417-423. Print. 4. Tashatoush, Ghassan M., Tashatoush, Khalid K., Al-Muhtaseb, Mutaz A., Mayyas Ahmad T. *Reliability Analysis of Car Maintenance Scheduling and Performance* Jordan: Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2010. - Vol 4, Number 3, - PP 388 - 393. Print. 5. Montgomery, Douglas C, Runger, George C. *Statistics and Probability for Engineers*. 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2003.- 157 p. Print. 6. Sozonov, Y. I., Lamnauer, N.Y., Cherkashina, O.S. *Vremennaya model kachestva technologicheskoy sistemi*. Kharkiv: Suchasni technologii v machinobuduvanni NTU «Kh PI», 2010.- No7 - PP. 257-263. Print. 7. Lamnauer, N.Y. *Raschet pokazatelya kachestva technologicheskoy sistemi vo vremeni*. Vostochno - Evropeyskiy jurnal peredovih technology, 2009. -No6/7(42). - PP.59-61. Print. 8. Lamnauer, N.Y., Sozonov, Y. I., Cherkashina, O.S. *Ocenka bezrazmernogo pokazatelya kachestva technologicheskikh processov v mashinostroenii*. Vostochno - Evropeyskiy jurnal peredovih technology, 2010. - 6/4(48). -PP.7-10 Print. 9. Lamnauer, N.Y. *Nadejnost technologicheskoy sistemi ot tochnosti izgotovleniya izdeliya*. Vostochno - Evropeyskiy jurnal peredovih technology, 2010. - 1/7(43). - PP.19-22. Print. 10. Lamnauer, N.Y. *Model raspredeleniya razmerov izdeliy I ee primenenie dlya ochenki tochnosti obrabotki*. Visnik NTU «KhPI», 2012. - No27.- PP. 98-107. Print. 11. Lamnauer, N.Y. *Zagalna model rozpodilu liniynih rozmiriv detaley ta yiyi zastosuvannyadlya polipshennya yakosti virobiv*. Visnik NTU «Kh PI», 2012. - No54(1027).- С.134-143. Print.

Поступила (received) 03.03.2015

Наталія Юрїївна Ламнауер – канд. техн. наук, доц. УПА, Харьков, тел.: (057)-733-78-18, e-mail: lamnaouernatali@mail.ru.