

Г. Клименко, Я. Васильченко,
Краматорськ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЗБІРНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

Анотація. В роботі вирішена задача підвищення надійності збірних інструментів для важких токарних верстатів. Наголошено, що при експлуатації важких верстатів простої потребують великих коштів, значно знижують якість процесу експлуатації технологічної системи. Метою статті є підвищення якості процесу експлуатації технологічної системи обробки деталей шляхом розробки математичних моделей для прогнозування надійності збірних інструментів. Доведено перевагу комплексного показника надійності інструменту – коефіцієнта готовності. Збірні різці розглядаються як послідовна система з точки зору їх надійності. Представлено систему показників надійності різального інструменту. Застосовуючи марківський підхід до опису системи і припущення експоненційного розподілу часу роботи і відновлення інструменту, розроблено математичні моделі коефіцієнтів готовності збірних різців.

Ключові слова: збірний різець; важкий верстат; показник надійності; якість інструменту; системний підхід; працездатність; інтенсивність відмов.

Вступ. Постановка проблеми.

Підвищення ступеня автоматизації сучасного виробництва, забезпечення якості продукції машинобудування потребують нових підходів до комплексного управління якістю технологічних систем [1,2], зокрема , систем механічної обробки матеріалів. Впровадження в Україні стандартів ISO серії 9000 [3, 4], які повинні забезпечити процесний підхід до менеджменту якості виробничих процесів, сприяти розробленню системи якості процесу механообробки [5], визначенню кваліметричних показників якості верстатів, різальних інструментів і процесів забезпечення їх безвідмовного функціонування в процесі виготовлення деталей. Це набуває особливого значення при експлуатації важких верстатів, для яких у зв'язку з їх високою вартістю, простої потребують великих коштів, значно знижують якість процесу експлуатації технологічної системи. Статистичний аналіз [6] показників експлуатації збірних різальних інструментів довів, що відмова інструментів є одним із значущих факторів простоїв верстатів. Тому визначення головного показника якості технологічної системи – надійності різального інструменту, є актуальною задачею для підвищення ефективності обробки деталей.

Оцінювання надійності збірного інструменту для важких верстатів має значення не тільки на стадії експлуатації, але і на стадії їх проектування [7].

Зараз використовується велика кількість показників, що дозволяють визначити безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність інструменту [8,9,10]. Розподіл періоду стійкості інструменту характеризує надійність різального леза і не дозволяє вирішити задачу забезпечення надійної експлуатації інструменту, включаючи інші конструктивні елементи збірного інструменту. Комплексними показниками надійності збірного інструменту як системи може служити коефіцієнт готовності [11,12].

Мета роботи – підвищення якості процесу експлуатації технологічної системи обробки деталей шляхом розробки математичних моделей для прогнозування надійності збірних інструментів.

Методика досліджень

Збірний твердосплавний різець з точки зору надійності можна уявити як послідовну систему, так як вихід з ладу будь-якого елемента різця призводить до відмови всієї системи. Її можна вважати такою, що обслуговується в зв'язку з наявністю процесу відновлення працездатності, тобто заміни відмовивших елементів (рис.1).

Показниками надійності обслуговувальної системи є коефіцієнт готовності, який характеризує як безвідмовність різця, так і його ремонтпридатність. Він визначає ймовірність знаходження системи в працездатному стані в певний момент часу за умови, що в початковий момент система була в справному стані.

Застосовуючи марківський підхід до опису системи, необхідно припустити, що відмови різця виникають згідно експоненціального закону розподілу, а час заміни елементів, що відмовили, являє собою випадкову величину також з експоненціальним розподілом. Статистичне дослідження працездатності твердосплавних різців не завжди підтверджує правомірність припущення експоненціального розподілу. Однак в зв'язку з тим що відмовні елементи (наприклад, різальні пластини) вимагають невеликого часу відновлення в порівнянні з тривалістю експлуатації інших елементів (наприклад, корпусу різця), застосування Марківського підходу до оцінки надійності системи дозволяють отримати математичні моделі, які описують поведінку системи з достатньою для практичного застосування точністю [13,14].

Основна частина. Для визначення коефіцієнта готовності збірного різця розглянемо два стани, в яких він може перебувати в процесі експлуатації: стан 0, коли він працездатний, і стан 1, коли верстат простоє (заміна різця і поворот багатогранної пластини).

Матриця переходів системи (збірного інструменту) з одного стану в інший має вигляд:

$$P_u = \begin{vmatrix} 1 - \lambda & \lambda \\ \mu & 1 - \mu \end{vmatrix}$$

де: λ – інтенсивність відмов різальної пластини;
 μ – інтенсивність відновлення (заміна різальних вершин).

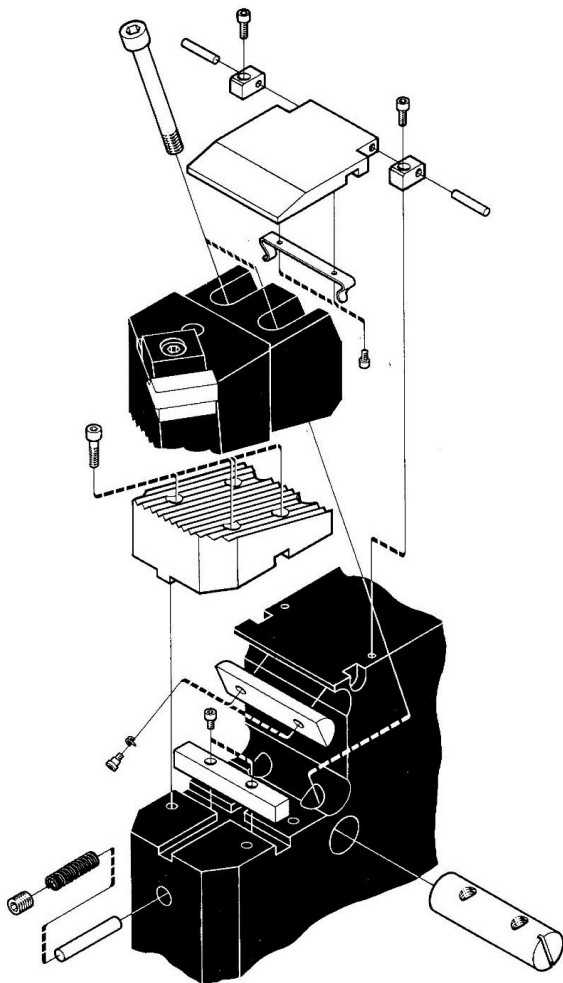


Рисунок 1 – Різець збірної конструкції та його елементи

Для експоненціального розподілу стійкості різця T і часу відновлень T_6 інтенсивність відмов пластин λ визначається $\lambda=1/T$, а інтенсивність відновлення $\mu=1/T_6$.

Скінченно-різницеві рівняння, що описують стохастичну поведінку цієї системи, можна скласти з таких міркувань: ймовірність того, що система знаходиться в стані 0 до моменту $t - t + dt$, виводиться з ймовірності того, що ця система була в стані 0 в момент часу t і не відмовила за інтервал $t - t + dt$ або те, що вона знаходиться в стані 1 в момент t і повернулася в стані 0 за інтервал $t - t + dt$. Тому отримуємо:

$$P_0(t + dt) = P_0(t)(1 - \lambda dt) + P_1(t)\mu dt + 0(dt)$$

Ймовірність перебування системи в стані 1 визначаємо подібним чином:

$$P_1(t + dt) = P_0(t)\lambda dt + P_1(t)(1 - \mu dt) + 0(dt)$$

Член $0(dt)$ являє собою нескінченно малу величину, так як є ймовірністю двох незалежних подій ординарного потоку.

Використовуючи перехід при $dt \rightarrow 0$ визначивши:

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P_i(t + dt) - P_i(t)}{dt} = P_i' \text{ u } \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{0(dt)}{dt} = 0$$

маємо: $P_0'(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t), P_1'(t) = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t)$

Якщо система при $t = 0$ знаходиться в роботі, то початковими умовами будуть: $P_0(0) = 1, P_1(0) = 0$. Коли $t = 0$ система перебуває в ремонті, тоді початковими умовами будуть: $P_0(0) = 0, P_1(0) = 1$. Застосовуючи перетворення Лапласа до рівнянь і враховуючи початкові умови $P_0(0) = 1, P_1(0) = 0$, отримуємо:

$$\begin{aligned} sP_0(s) - 1 + \lambda P_0(s) - \mu P_1(s) &= 0 \\ sP_1(s) - \lambda P_0(s) + \mu P_1(s) &= 0 \end{aligned}$$

і після приведення подібних членів маємо:

$$\begin{aligned} (s + \lambda)P_0(s) - \mu P_1(s) &= 1 \\ -\lambda P_0(s) + (s + \mu)P_1(s) &= 0 \end{aligned}$$

Для вирішення даної системи рівнянь введемо визначник D , елементами якого є коефіцієнти при $P_i(s)$. Крім того, позначимо D_i , який

утворюється в результаті заміни i -го стовпця стовпцем коефіцієнтів правої частини рівнянь системи. Тоді:

$$P_i(s) = D_i/D$$

і тому

$$P_0(s) = \frac{\begin{vmatrix} 1 & -\mu \\ 0 & s + \mu \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} s + \lambda & -\mu \\ -\lambda & s + \mu \end{vmatrix}}$$

або

$$P_0(s) = \frac{s + \mu}{s(s + \lambda + \mu)}$$

Функція готовності, яку позначимо через $A(t)$, є зворотним перетворенням Лапласа для $P_0(s)$, тобто.

$$A(t) = L^{-1}\{P_0(s)\}$$

або

$$K_{\Gamma_u} = P_0(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Середній час працездатного стану $A(T_{\text{ин}})$ різця для деякого кінцевого інтервалу часу T можна визначити, просумувавши $P_0(t)$ по всьому інтервалу і розділивши на нього:

$$A(T_{\text{ин}}) = \frac{1}{T} \int_0^T P_0(t) dt$$

Для даного випадку

$$A(T_{\text{ин}}) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)^2 T} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)T}$$

Розглянемо надійність збірного різця для важких верстатів, що складається з корпусу, блоку-вставки, на якій кріпиться різальна пластина. Збірний різець відновлює свою працездатність двома способами. При виникненні першої несправності (відмови різальної пластини) здійснюється часткове відновлення-поворот або заміна пластини і система відновлює свою працездатність. Після появи другої відмови (вихід з ладу всього блоку або елементів кріплення) виконується заміна блоку. При цьому система повністю відновлює свою

працездатність. Нехай λ_1 означає інтенсивність відмов блоків, а λ_2 – інтенсивність відмов пластин, причому $\lambda_2 > \lambda_1$. Нехай далі μ_1 – інтенсивність установаження різальної частини, тобто заміни або повороту пластини, а μ_2 – інтенсивність відновлення працездатності блоків. Визначимо чотири стани, в яких знаходитимуться системи: стан 0 – системи справні після заміни блоку; стан 1 – різець не працює у зв'язку з відмовою пластини, проводиться її поворот або заміна; стан 2 – різець знаходиться в робочому стані після заміни пластини; стан 3 – різець не працює у зв'язку з відмовою елементів кріплення або блоків в цілому, проводиться заміна блоку.

Стан 0 і 2 являють собою допустимий стан для надійної роботи різця. Матриця переходу з одного стану в інший в цьому випадку має вигляд:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \left\| \begin{array}{cccc} 1 - \lambda_1 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \mu_1 & \mu_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ \mu_2 & 0 & 0 & 1 - \mu_2 \end{array} \right\| \end{matrix}$$

Система алгебраїчних рівнянь представляється:

$$\begin{aligned} 0 &= -\lambda_1 P_0 + \mu_2 P_3 \\ 0 &= \lambda_1 P_0 - \mu_1 P_1 \\ 0 &= \mu_1 P_1 + \lambda_2 P_2 \\ 0 &= -\lambda_2 P_2 + \mu_2 P_3 \\ 0 &= P_0 + P_1 + P_2 + P_3 \end{aligned}$$

Опускаючи проміжні математичні викладки, визначаємо коефіцієнт готовності, що надає частку часу, в якому різець знаходиться в справному стані:

$$K_{\Gamma_u} = \frac{\lambda_1 \mu_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1 \mu_2}{\lambda_1 \mu_2 \mu_1 + \lambda_1 \mu_1 \mu_2 + \lambda_1 \mu_2 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1 \mu_2}$$

Використовуючи цю математичну модель можна визначити коефіцієнт готовності різця за заданими показниками його надійності:

показники безвідмовності λ_1 і λ_2 і ремонтпридатності μ_1 і μ_2 , отримаємо на підставі результатів експлуатаційних випробувань.

Цю залежність на стадії проектування можна використовувати для розподілу заданого рівня надійності всього різця даної конструкції між його елементами, маючи апіорну інформацію про інтенсивність їх відновлення. Якщо ж необхідно сконструювати різець для даних умов обробки (тобто задані інтенсивності λ_1 і λ_2), то для отримання заданого рівня надійності необхідно вибрати такі конструктивні рішення, які дозволяють забезпечити визначені цією залежністю показники ремонтпридатності.

Висновки.

Для підвищення якості процесу експлуатації технічних систем механообробки деталей необхідно в систему властивостей якості всієї системи включати показники надійності різального інструменту, які визначають частку часу справжньої роботи верстату. Це має особливе значення для важких верстатів, ефективність роботи яких в значній мірі залежить від простоїв, пов'язаних з відмовою різальних інструментів. Аналіз різних показників надійності дозволив виявити перевагу комплексного показника надійності інструменту – коефіцієнта готовності. При розробці математичних моделей збірні різці розглядалися як послідовна система з точки зору їх надійності, кількість елементів якої залежить від конструкції інструменту. Застосовуючи марківський підхід до опису системи і припущення експоненційного розподілу часу роботи і відновлення інструменту, розроблено математичні моделі коефіцієнтів готовності для двох конструкцій збірних різців. Ці залежності ефективно використовуються як на стадії проектування інструменту для розподілу надійності між елементами конструкції, так і на стадії його експлуатації для визначення якості технологічної системи.

References: 1. *Fletcher C.* Total Quality Management: A Practical Guide // PM Network. 1996. February 2. *Struckenbruck L.C.* (editor). The Implementation of Project Management: The Professional's Handbook. Addison – Wesley P.C., PMI. Drexel Hill, 1992. 3. *Zakonodavstvo Ukraini pro standartizaciyu, metrologiyu i sertifikaciyu: zakoni i zakonodavchi akti / red. kol.: V.S. Kovalskij (gol.), V.G. Goncharenko ta in..* – Kyiv : Yurinkom Inter, 2003. – 446 p. 4. *Bykov, Yu. M.* Processnyj podhod pri vnedrenii sistem menedzhmenta kachestva v sootvetstvii so standartami ISO serii 9000 / Yu. M. Bykov. – M. : TEM Consulting, 2007. – 257 p. 5. Evaluation of a level of quality of machining process / *G. Klymenko, Y. Vasylichenko, V. Kovalev, L. Ostankova* // International conference "ISQME2012"(Quality, Management, Environment, Engineering) 19–21 September 2012. Hotel Palma, Tivat–Montenegro. – Podgorica, 2012. – pp. 51–61. 6. *Mazur, I. I.* Upravlenie kachestvom: ucheb. posobie / I. I. Mazur, V. D. Shapiro – Moscow : Omega-L, 2011. – 400 p. 7. *Klimenko G. P.* Vznachennya tovshini plastini zbirnogo rizca v zalezhnosti vid jogo racionalnogo rivnya nadijnosti / G. P. Klimenko, A. Yu. Andronov // Nadijnosti instrumentu ta optimizaciya tehnologichnih sistem. – Kramatorsk, 2010. – Vip. 26. – pp. 39–45.

8. *Klimenko G. P.* Opredelenie kachestva sbornyh torcovykh frez / G. P. Klimenko, A. O. Denisova // Nadijnist instrumentu ta optimizaciya tehnologichnih sistem. – Kramatorsk, 2011. – Vip. 28. – pp. 56–60. 9. *Klimenko G. P.* Povyshenie bezotkaznosti frez sbornoj konstrukcii / G. P. Klimenko, A. Yu. Andronov, E. V. Konoplickij // Nadijnist instrumentu ta optimizaciya tehnologichnih sistem. – Kramatorsk, 2012. – Vip. 30. – pp. 15–21. 10. *Klimenko G. P.* Povyshenie kachestva sbornyh sverlilnyh golovok / G. P. Klimenko, Ya. I. Yavorovskaya // Nauchnyj vestnik Donbasskoj gosudarstvennoj mashinostroitelnoj akademii. – Kramatorsk, 2014. – № 3 (15E). – pp. 33–38. 11. *Klimenko G. P.* Issledovanie kachestva sbornyh mnogolezvyjnyh instrumentov / G. P. Klimenko // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2012. – Vyp. 82. – pp. 83–90. 12. *Klimenko G.P.* Kompleksnij pokaznik nadijnosti zbirnih rizciv vazhkih tokamih verstativ / G.P. Klimenko, D.O.Kovalov // Nadezhnost rezhushhego instrumenta i optimizaciya tehnologicheskikh sistem.- Kramatorsk: DGMA, Vip. 42, 2018. – pp. 37-40. 13. *Kane, M. M.* Sistemy, metody i instrumenty menedzhmenta kachestva: Uchebnoe posobie. / M. M. Kane, B. V. Ivanov, V.N. Koreshkov, A. G. Shirtladze. – SPb. : Piter, 2008. – 560 p. 14. *G. P. Klimenko.* Ekspluataciya zbirnih rizciv : monografiya - G. P. Klimenko, Ye. V. Mironenko, V. S. Guzenko, Ya. V. Vasilchenko, M. V. Shapovalov. – Kramatorsk : DDMA, 2015. – 83p. – ISBN 978-966-379-732-8.

Galyna Klymenko, Yana Vasylchenko,
Kramatorsk, Ukraine

MODELING THE RELIABILITY OF ASSEMBLY TOOLS FOR HEAVY LATHES

Abstract. *The problem of increasing the reliability of prefabricated tools for heavy lathes is solved in the work. The idea of implementing ISO 9000 series standards is justified. The need to develop a quality system for the machining process has been proven. Qualimetric indicators of quality of machines, cutting tools and processes of ensuring their trouble-free operation are defined. The aim of the article is to improve the quality of operation of the technological system of processing parts by developing mathematical models for predicting the reliability of assembly tools. Special attention is paid to the operation of cutting tools for heavy machines. The high cost of such tools is emphasized. Attention to reducing downtime of heavy machines is paid. The statistical analysis of indicators of operation of assembly cutting tools is carried out. It is proved that tool failure is one of the significant factors of machine downtime. The system of indicators of reliability of the cutting tool is presented. The reliability of the assembled tools for heavy machines is considered. The operation of the machine during operation is analyzed. Two ways to restore the efficiency of the tools are analyzed. State 0, when the machine is operational, and state 1, when the machine is idle are considered. Markov's approach to the description of the system is applied. Assumptions about the exponential distribution of operating time and tool recovery are made. The advantage of a complex indicator of tool reliability - readiness factor is proved. Assembly tools are considered as a consistent system in terms of their reliability. The number of system elements depends on the design of the tool. Mathematical models of readiness coefficients for two designs of assembly cutters are developed. The effectiveness of the use of research results proved. The distribution of reliability between the structural elements is determined at the design stage of the tool. The quality of the technological system is determined at the stage of its operation. Design solutions must be chosen to ensure serviceability. This will provide a given level of reliability.*

Keywords: *assembly tools; heavy machine; reliability indicator; tool quality; system approach; efficiency; failure rate.*