

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ
ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ****Клименко Г. П., Васильченко Я. В., Андронов О. Ю.**

Разработаны математические модели для расчета периода стойкости инструмента. Приведен метод расчета суммарного периода стойкости, что дает возможность повысить уровень эксплуатации режущих инструментов для тяжелых станков. Разработана математическая модель надежности сборного токарного резца для тяжелых токарных станков на основе анализа полумарковских процессов для схемы ненагруженного дублирования с восстановлением. Целесообразный уровень надежности рассчитан по критерию приведенных затрат. Доказано эксплуатационными испытаниями повышение надежности сборных токарных резцов для тяжелых станков магнитоимпульсной обработкой.

Розроблені математичні моделі для розрахунку періоду стійкості інструменту. Приведений метод розрахунку сумарного періоду стійкості, що дає можливість підвищити рівень експлуатації ріжучих інструментів для важких верстатів. Розроблена математична модель надійності збірного токарного різця для важких токарних верстатів на основі аналізу полумарківських процесів для схеми ненапруженого дублювання з відновленням. Доцільний рівень надійності розраховано за критерієм приведених витрат. Доказано експлуатаційними випробуваннями підвищення надійності збірних токарних різців для важких верстатів магнітоімпульсною обробкою.

Mathematics models for evaluation of tool life has been developed. The method of calculation of the summary tool life was worked out. It gives the possibility to decrease the quantity of using cutting tools for heave lathes. On the basis of semi-markov processes analysis for the scheme of not loaded duplication with restoration the mathematical model of modular cutter reliability for heavy lathe is developed. The expedient reliability level on the criterion of the resulted expenses is expected. It is proved with the performance tests the improving of the modular cutter reliability for heavy machine-tool magnetic-charge processing.

Клименко Г. П.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой АПП ДГМА
app@dgma.donetsk.ua

Васильченко Я. В.

канд. техн. наук, доц. кафедры МСИ ДГМА

Андронов А. Ю.

канд. техн. наук, ассистент кафедры МСИ ДГМА

УДК 621.9.02

Клименко Г. П., Васильченко Я. В., Андронов О. Ю.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ

Процес експлуатації різальних інструментів суттєво залежить від імовірнісного характеру різання металів [1], який впливає на підвищення простоїв верстатів за причиною відмов інструментів.

Під ефективністю експлуатації інструментів розуміється зниження собівартості механічної обробки деталей та видатку інструментів за рахунок підвищення їх надійності і якості процесу експлуатації. Особливо це важливо для важких верстатів с ЧПК, вартість експлуатації яких дуже велика, а брак високотехнологічних важких деталей недопустимий.

Використання збірних токарних різців замість напаяних вимагає нового підходу до оцінки їх надійності. Оцінка надійності збірних токарних різців для важких верстатів має значення не тільки на стадії експлуатації, але й на стадії їх проектування. Розробка регламентів експлуатації різальних інструментів на важких верстатах, формування цільових функцій для операцій оптимізації параметрів механічної обробки повинні проводитися, виходячи із заданого рівня надійності різального інструменту [1]. У цей час використовується велику кількість показників, що дозволяють визначити безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність інструмента окремо. Комплексним показником надійності збірного інструмента як системи може служити його коефіцієнт готовності [2].

Токарний різець збірної конструкції із погляду надійності можна представити як послідовну систему, тому що вихід з ладу будь-якого елемента різця приводить до відмови всієї системи. Показником надійності системи є коефіцієнт готовності, який характеризує як безвідмовність різця, так і його ремонтпридатність. Він визначає ймовірність знаходження системи в працездатному стані в деякий момент часу за умови, що в початковий момент система була в справному стані.

Для спрощення математичної моделі надійності, прийнято припущення про експоненціальний закон розподілу напрацювання та часу відновлення працездатності збірних токарних різців для важких верстатів [3], що знижало точність прогнозування надійності та розрахунку витрати різального інструменту.

Визначення норм видатку різального інструменту проводиться на основі величини сумарного періоду стійкості інструментів, виходячи з припустимого обсягу їх сточування. При цьому передбачається, що єдиною причиною відмов інструменту є досягнення гранично припустимого зносу. Водночас, аналіз експлуатації твердосплавного інструменту на важких верстатах показав, що значна частка їх відмов припадає на викришування та руйнації. Встановлено, що імовірність руйнації інструменту істотно залежить від рівня режимів різання, особливо від подачі. Тому розрахунок сумарного періоду стійкості інструменту, що визначає його видаток, здійснювався з урахуванням не тільки його зносу, але й руйнування.

Метою роботи є підвищення ефективності експлуатації збірних різців для обробки на важких токарних верстатах за рахунок підвищення надійності різальних інструментів магнітоімпульсною обробкою та визначення раціональних регламентів їх експлуатації.

Побудуємо полумарківську модель для схеми ненапруженого дублювання з відновленням, яка містить резервний елемент ізольований від навантажень і не втрачає своїх властивостей надійності; елементи системи неоднакові, мають різні показники надійності; часи безвідмовної роботи елементів і часи відновлення, розподілені за деякими законами функції, що відповідають, розподілу позначаються для часів безвідмовної роботи $F_1^{(i)}(t)$ і для часів відновлення $F_0^{(i)}(t)$.

Безліч станів системи E в відповідності з наявним поняттям відмови розбивається на дві підмножини:

$$E = E_1 \cup E_0; E_1 \cap E_0,$$

де E_1 – інтерпретується як безліч працездатних станів системи; E_0 – безліч непрацездатних станів.

Введемо стани системи: 1 – перший елемент працездатний і включений до роботи, другий працездатний і перебуває в резерві (початковий стан системи); 2 – перший елемент працює; 3 – другий елемент працює; 4x – часткове відновлення (поворот пластини), 5x – повне відновлення (заміна пластини), з початку відновлення початкового моменту перебування в стані пройшов час x .

Безліч станів E в цьому випадку можна представити у вигляді $E = \{1, 2, 3\} \cup \{4, 5\} \times R_+$, де $R_+ = \{x : x \geq 0\}$ – безліч невід’ємних дійсних чисел.

Середній час перебування в станах дорівнюють:

$$m_1 = \int_0^\infty \bar{F}_1^{(1)}(t)dt; m_2 = \int_0^\infty \bar{F}_1^{(1)}(t)dt; m_3 = \int_0^\infty \bar{F}_1^{(2)}(t)dt;$$

$$m(4x) = \frac{\int_0^\infty \bar{F}_0^{(2)}(t+x)dt}{\bar{F}_0^{(2)}(x)}; m(5x) = \frac{\int_0^\infty \bar{F}_0^{(1)}(t+x)dt}{\bar{F}_0^{(1)}(x)}.$$

Коефіцієнт готовності:

$$K_\Gamma = \left(1 + \frac{\sum_{n=0}^\infty (-1)^n \frac{(1/t_1)^{nb_1+1}}{a_1^{nb_1} (nb_1+1)n!} + \sum_{n=0}^\infty (-1)^n \frac{(1/t_2)^{nb_2+1}}{a_2^{nb_2} (nb_2+1)n!}}{t_4 e^{-(0,3t_4)} \int_0^\infty t_4 e^{-(0,3t_4)} dx + t_5 e^{-(0,3t_5)} \int_0^\infty t_5 e^{-(0,3t_5)}(x) dx} \right)^{-1}.$$

Залежність можна використовувати для розподілу заданого рівня надійності всього токарного різця даної конструкції між його елементами, маючи апріорну інформацію про інтенсивність їх відновлення. Якщо ж необхідно сконструювати різець для даних умов обробки (тобто с заданою інтенсивністю відновлення), то для одержання заданого рівня надійності необхідно вибрати такі конструктивні розв'язки, які дозволять забезпечити певні цієї залежністю показники ремонтпридатності.

Затрати на експлуатацію різального інструменту в функції часу мають тенденції до зростання (рис. 1), бо старіння окремих елементів машини призводить до необхідності вкладати деталі більші кошти для відновлення втрачених властивостей.

При встановленні оптимального (з економічних позицій) рівня надійності різального інструменту слід мати на увазі, що вимоги безвідмовності двояко пов'язані із затратами на виготовлення та експлуатацію. При вимогах до безвідмовності роботи різального інструменту потрібні підвищені затрати на його виготовлення.

Якщо виразити сумарні затрати на виготовлення A_v та експлуатацію різального інструменту A_e у функції ймовірності безвідмовної роботи періоду, то мінімум цієї функції визначить економічно доцільний рівень безвідмовності різального інструменту. При більшому впливі безвідмовності на експлуатаційні затрати оптимальне значення рівня надійності зсуватиметься в бік вищих значень цих затрат.

Мінімум функції сумарних затрат визначає економічно доцільний рівень надійності різальних інструментів за критерієм видатку, який складає 78 %.

Для визначення доцільного рівня надійності за критерієм приведених затрат розрахуємо частинну двійну похідну наведених витрат, яка визначає прискорення зміни затрат в залежності від рівня надійності інструмента:

$$\partial A_{nep} / \partial \gamma = 0.$$

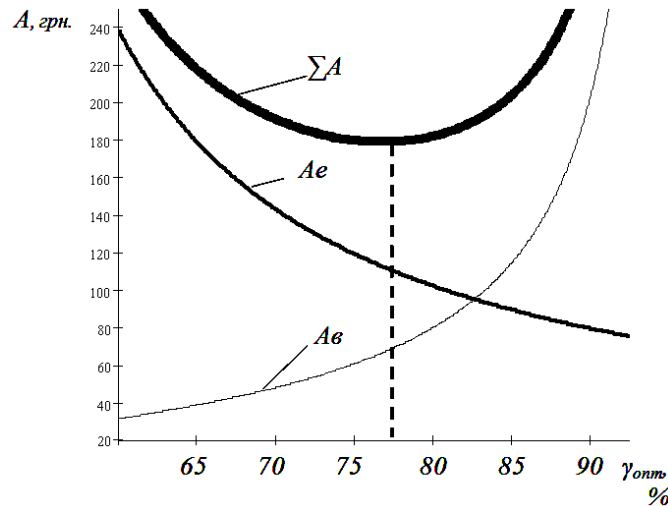


Рис. 1. Вплив вимог безвідмовності на затрати при виготовленні A_{ϕ} та експлуатації A_e збірних різців

Змінна частина собівартості обробки однієї деталі, що залежить від витрат, які пов'язані з інструментом, змінними режимами різання, визначається рівнянням:

$$A_{nep} = t_0 E + \frac{t_{CM} E_T}{z_T} + \frac{\frac{A_u}{K} + A_z}{z_T},$$

де t_0 – основний час обробки однієї деталі, хв; E – вартість станко-хвилини, грн/хв; E_T – сумарні витрати, пов'язані із простоями під час зміни інструмента, грн/хв; t_{CM} – час зміни й настроювання інструмента, хв; A_u, A_z – вартість інструмента й заточення відповідно, грн; K – число періодів стійкості.

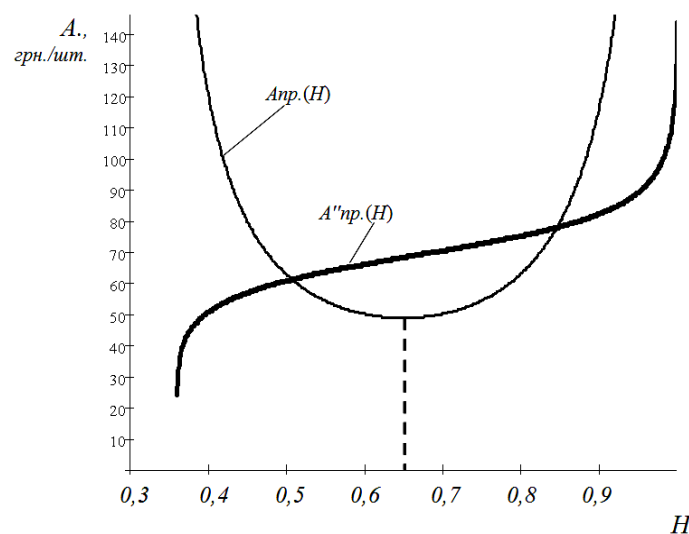


Рис. 2. Залежність показника змінної частини собівартості A та його прискорення від рівня надійності H

$$\frac{\partial^2 A_{пер}}{(\partial \gamma)^2} = \frac{C_t}{T_e \nu \gamma \left(\frac{T_m - T_e}{T_e}\right)^{1/\mu}} \left(\left(a_{нал} t_{смпл} - C_2 + \left(\frac{A_u}{K_1} + A_{z1}\right) - x_4 \right) \left(\frac{T_m}{(-\ln \gamma)^{1/b}} - a \right)^{1/\mu} - \right. \\ \left. - \left(ET_e + \gamma \left(a_{нал} t_{смпл} - C_2 + \left(\frac{A_u}{K_1} + A_{z1}\right) - \frac{A_u}{K_2} + A_{z2} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + (E + a_{нал}) t_{смпл} \right) \frac{T_m \left(\frac{T_m}{(-\ln \gamma)^{1/b}} - a \right)^{1/\mu}}{b \mu \gamma \ln \lambda (-\ln \gamma)^{1/b} \left(\frac{T_m}{(-\ln \gamma)^{1/b}} - a \right)} = 0.$$

Аналізуючи залежності визначених параметрів від рівня надійності можливо зробити висновок про те, що мінімальне раціональне значення дорівнює близько 0,8 (80 %), після якого стрімко зростають показники витратку та перемінної собівартості, а мінімальне значення мінімуму, що забезпечує доцільний рівень надійності різального інструменту за критерієм приведених затрат дорівнює 0,64.

Одним з найбільш перспективних шляхів підвищення ефективності при створенні різального інструменту, в особливості з твердих сплавів, є використання сучасних методів зміцнення, таких як магнітоімпульсна обробка (МІО), спрямованих на формування оптимальних властивостей інструментальних матеріалів: твердості, мікроструктури, а також їх експлуатаційних характеристик.

Для оцінки ефекту зміцнення твердосплавних різців, підвищення їх безвідмовності проведений ряд експлуатаційних випробувань, які проведені на токарному верстаті мод. КЖ16274Ф3 збірними різцями висотою $h = 45$ мм (табл. 1).

Випробування проводилися відповідно до методики тривалих випробувань на надійність різального інструменту.

Математична обробка результатів випробувань (рис. 3) показала збільшення середнього періоду стійкості зміцненого інструмента, а також зменшення коефіцієнта варіації стійкості інструмента й зміни закону розподілу стійкості з Вейбула до нормального, що особливо важливо для верстатів з ЧПК.

Величина періоду стійкості інструменту з врахуванням його руйнування визначається традиційною залежністю стійкості з поправочним коефіцієнтом χ , що враховує імовірність руйнування інструменту [4]. Для його визначення на підставі статистичних досліджень [5] обробки деталей на важких верстатах встановлена залежність вірогідності руйнувань q_p від відношення періодів стійкості і основного розмірного параметра верстата D_C (коефіцієнт множинної кореляції – 0,67, об'єм вибірки – 248):

$$q_p = 0,108 D_C^{-0,45} T_p / T_u.$$

Отримана залежність дозволяє прогнозувати співвідношення періодів стійкості інструменту до різного вигляду його відмов при заданому значенні вірогідності руйнувань інструменту або вирішувати зворотну задачу (рис. 4).

Враховуючи, що період стійкості інструменту є сумою періодів до його руйнування і зносу, помножених на відповідну вірогідність відмови, поправочний коефіцієнт на період стійкості інструменту для важких токарних верстатів різних типорозмірів визначається:

$$\chi = 1 - q_p + 0,108 D_C^{0,15} q_p^{0,68}.$$

Період стійкості до руйнування залежить від рівня режимів різання, особливо від подачі. Показник міри в залежності подачі від числа періодів стійкості досліджений раніше на верстатах середніх типорозмірів [3], вагається в широких межах. Для уточнення згаданої залежності для важких верстатів був проведений виробничий експеримент, під час якого реєструвався не лише вигляд відмови (знос або руйнування), але, по можливості, і його причина. Відмови інструменту у зв'язку з його руйнуванням були розділені на 2 групи: відмови залежні від подачі і випадкові відмови, не залежні або мало залежні від подачі. Були встановлені три причини випадкових відмов: грубі дефекти виготовлення інструменту, зупинка верстата і помилка робітника. Передбачається, що поломка інструменту неминуче настає при випадковій установці подачі, що значно більшої рекомендується, при помилковому включенні швидкого переміщення супорта і так далі.

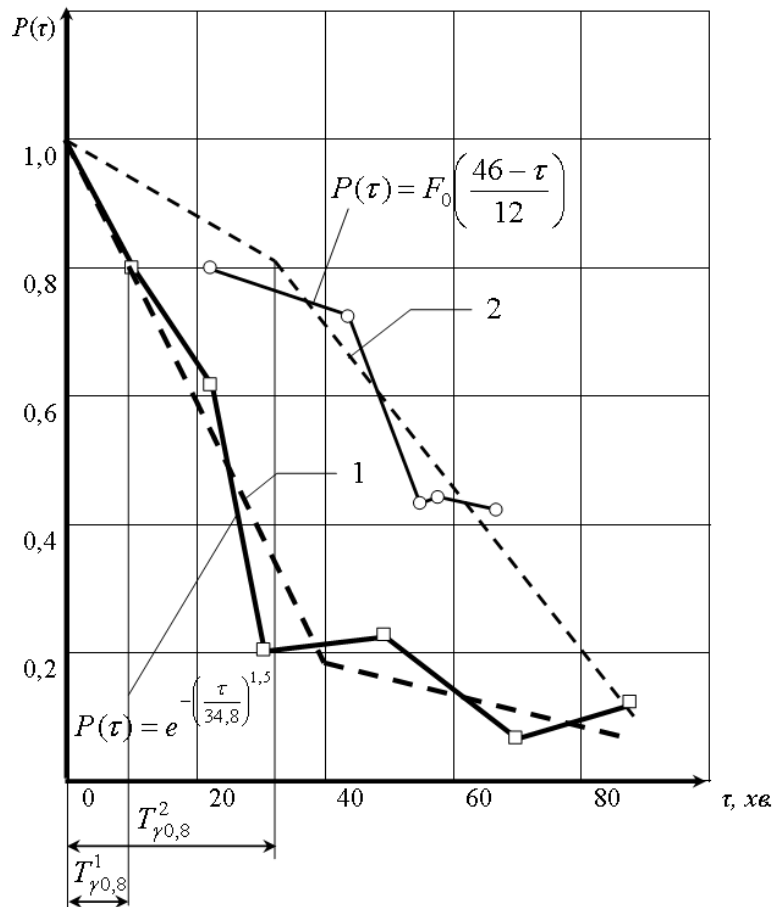


Рис. 3. Результати аналізу безвідмовної роботи токарних різців пластинами Т5К10 при порівняльних випробуваннях:

1 – Т5К10; 2 – Т5К10 + МІО; — — — статистичні; - - - теоретичні

Досліджувався вплив подачі на число періодів стійкості різців Т5К10 при обробці сталі 90ХМФ з глибиною різання $t = 6$ мм і швидкістю різання, відповідній даній подачі ($S = 0,9 \dots 2$ мм/об). Статистична обробка результатів експериментів (вибірок значень чисел періодів стійкості для різних подач на верстатах різних типорозмірів) дозволила встановити регресійну залежність для визначення показника міри m_k (коефіцієнт кореляції – 0,78, об'єм вибірки – 184):

$$m_k = 0,7327 - 7,3 \cdot 10^{-5} D_C.$$

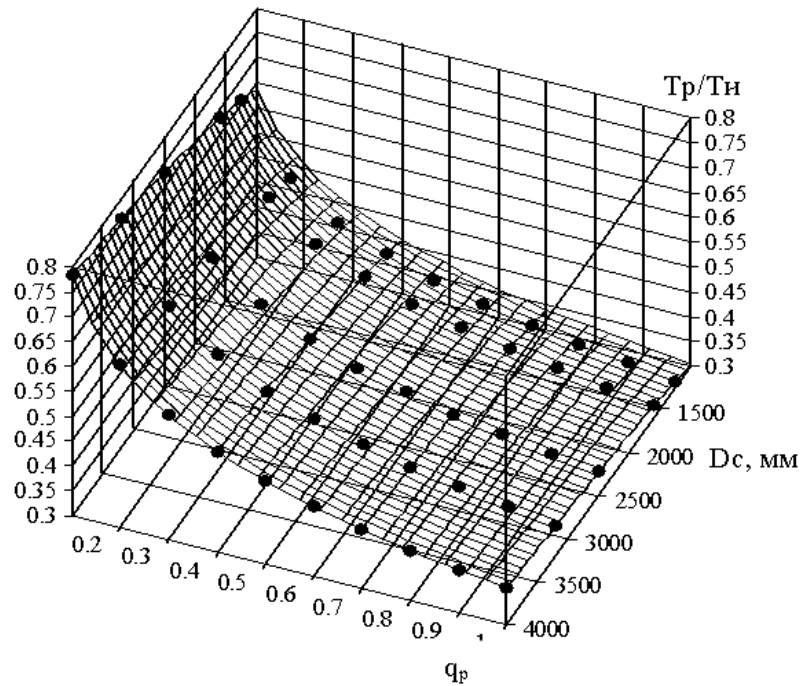


Рис. 4. Залежність q_p від співвідношення Tr/Ti інструментів для верстатів різних типорозмірів

Отримана залежність використовувалася для здобуття поправочних коефіцієнтів на витрату інструменту (число періодів стійкості) при відхиленні подачі від її нормативного значення. Статистичні дослідження показали наявність досить тісної кореляційної залежності зміни витрати різального інструменту від рівня якості його експлуатації (коефіцієнт кореляції – 0,82). Математичні моделі, покладені в основу визначення раціональних параметрів експлуатації інструменту, справедливі лише для певного фіксованого рівня експлуатації, при якому фактичні показники максимально наближені до нормативно-базових їх значень.

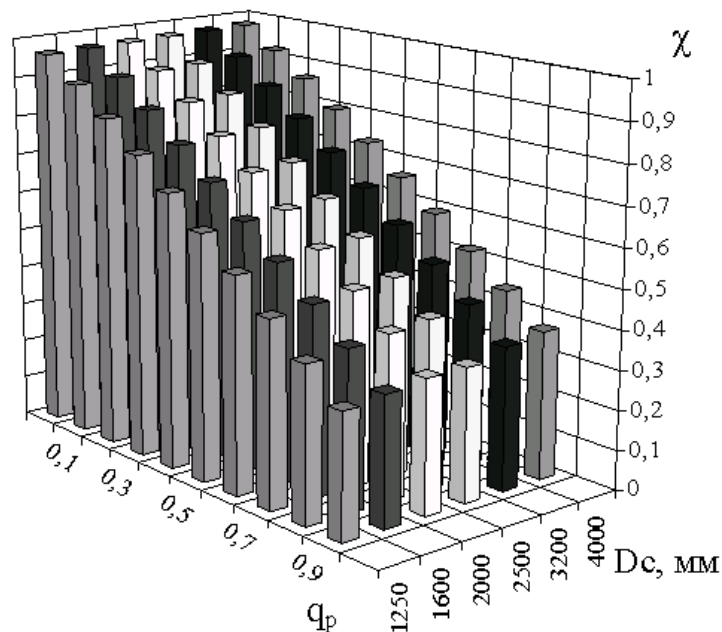


Рис. 5. Поправочний коефіцієнт на величину періоду стійкості твердосплавного інструменту важких верстатів в залежності від q_p

Відхилення показників експлуатації від базових значень призводить до зміни фактичного видатку інструменту R_F , у порівнянні з його нормативним значенням R_H , відповідно до встановленої кореляційної залежності:

$$R_F = R_H Y_E^{m_E},$$

де m_E – показник ступеня впливу рівня експлуатації на видаток різального інструменту; k_E – поправочний коефіцієнт на нормативний видаток інструменту, що враховує рівень якості його експлуатації.

Визначення норм видатку різального інструменту покладено сумарний період стійкості $\sum T = \bar{T}K$, де \bar{T} – середній період стійкості інструменту; K – число періодів стійкості інструменту, $K=1/q_p$. Підставляючи визначені величини, фактичний сумарний період стійкості:

$$\sum T = T \left(1 - q_p + 0.108 D_c^{0.15} q_p^{0.68} \right) / q_p,$$

де T – період стійкості, визначений за традиційною залежністю стійкості.

При відомому фактичному повному періоду стійкості інструменту простим розрахунком можливо визначити необхідне число різальних кромок m для заданого основного часу з урахуванням рівня експлуатації інструменту:

$$m = \frac{t_0 Y_E^{m_E}}{\sum T}.$$

ВИСНОВКИ

Розроблено математичну модель надійності збірного різця з використанням теорії полумарківських ланцюгів у вигляді залежності коефіцієнту готовності різця як системи від параметрів законів розподілу періодів стійкості та відновлення. Здобуто математичну модель прискорення зміни приведених витрат, мінімум яких відповідає раціональному рівню надійності різальної пластини з урахуванням їх витрати. Доведено, що раціональний рівень надійності збірного різця в цілому складає в середньому 0,64.

Експлуатаційні тривалі випробування різальних пластин збірного токарного різця довели, що магнітоімпульсна обробка підвищує стабільність роботи різального інструменту, про що свідчить зменшення діапазону розсіювання стійкості і зменшення коефіцієнту варіації в 1,75 рази.

Запропонований метод розрахунку видатку інструменту дозволяє враховувати його імовірність руйнування та фактичний рівень експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко Г. П. Надійність процесу експлуатації різального інструменту на важких верстатах / Г. П. Клименко, Я. В. Васильченко, О. Ю. Андронов, М. А. Ткаченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ-Київ : ДДМА, 2004. – Вып. 15. – С. 46–51.
2. Клименко Г. П. Повышение надежности технологической системы при механообработке труднообработываемых материалов на тяжелых токарных станках / Г. П. Клименко, Н. С. Равская, А. Ю. Андронов // Вестник двигателестроения : научно-техн. журнал. – Запорожье : ЗНТУ, 2009. – Вып. № 2 (21). – С. 116-119.
3. Клименко Г. П. Определение периода стойкости инструмента для тяжелых токарных станков / Резание и инструмент в технологических системах // Г. П. Клименко // Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков : ХГПУ, 1999. – Вып. 53. – С. 75–79.
4. Клименко Г. П. Определение нормативного расхода режущего инструмента для тяжелых токарных станков / Г. П. Клименко // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков : ХГПУ, 1998. – Вып. 52. – С. 99–104.
5. Бобров В. И. Надежность технических систем: уч. пособие / В. И. Бобров. – Москва : МГУП, 2004. – 236 с.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2011 р.