

УДК 621.9: 658.5

Т. Г. Ивченко, канд. техн. наук, доцент
Донецкий национальный технический университет
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОЧЕНИЯ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЗАДАННОГО УРОВНЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

Представлены результаты оценки возможностей роста производительности точения при заданном уровне безотказности режущего инструмента. Рассмотрен закон Вейбулла распределения стойкости режущего инструмента как случайной величины. Основными показателями безотказности являются средний период стойкости и период стойкости с заданной вероятностью. Установлены необходимые для обеспечения заданного уровня безотказности коэффициенты изменения режимов резания и производительности.

Ключевые слова: режущий инструмент, стойкость, коэффициент вариации, производительность, безотказность.

T. G. Ivchenko

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF THE TURNING PRODUCTIVITY RISE WITH PROVIDING OF THE SET LEVEL OF RELIABILITY

There are presented the results of the estimation of the possibilities of the turning productivity rise at the set level of cutting tool reliability. It is considered the Veybulla distributing law of the cutting tool life as casual value. The basic reliability measures are mean period of the cutting tool life and period of the cutting tool life with the set probability. There are set the necessary for providing of the set level of reliability the coefficient of the cutting regimes and productivity change.

Keyword: cutting tool, cutting tool life, coefficient of variation, productivity, reliability.

1. Введение

Обеспечение требуемого уровня надежности функционирования режущего инструмента является актуальной задачей повышения эффективности технологических систем, что особенно важно в современном автоматизированном производстве.

В настоящее время достаточно обоснованы представления о стойкости режущего инструмента как случайной величины и предложены не только методы экспериментального определения параметров законов ее распределения, но и методы их теоретического прогнозирования [1, 2]. Предложена так же методика учета закона распределения стойкости при оптимизации режимов резания как по критерию максимальной производительности [3], так и по критерию минимальной себестоимости [4].

В современном производстве значительное внимание уделяется вопросам повышения производительности обработки. Разработаны количественные методы оценки эффективности различных мероприятий по повышению производительности [5].

Рассмотрены вопросы обеспечения гарантированного уровня безотказности режущего инструмента при оптимизации режимов резания [6].

Однако закономерности изменения производительности обработки в связи с требованиями обеспечения требуемого уровня надежности практически не рассматриваются и требуют дальнейшего развития.

Цель работы – разработка методики расчета производительности обработки с учетом закона распределения стойкости как случайной величины с обеспечением

заданного уровня безотказности режущего инструмента.

2. Основное содержание и результаты работы

Наиболее распространенные способы повышения производительности механической обработки за счет различных мероприятий, например совершенствования режущего инструмента или применения смазочно-охлаждающих технологических сред, основаны, прежде всего, на повышении стойкости режущего инструмента и возможности интенсификации за счет этого режимов резания.

Коэффициент повышения производительности в таком случае может быть определен следующим образом [5]:

$$K_P(K_T) = K_T^m, \quad (1)$$

где K_T – коэффициент повышения стойкости режущего инструмента T ; m – показатель относительной стойкости.

Такой коэффициент справедлив в случае, если стойкость режущего инструмента рассматривается как детерминированная величина. Однако, согласно современным представлениям, в условиях существенного рассеивания параметров процесса резания в реальных технологических системах, стойкость режущего инструмента является случайной величиной. Приближенная аппроксимация случайных моделей детерминированными и замена случайных параметров их средними значениями вносит существенные погрешности в расчеты, например, оптимальных режимов резания, производительности, себестоимости [6].

В настоящей работе рассмотрен закон Вейбулла распределения стойкости режущего инструмента как случайной величины. В качестве основных показателей безотказности режущего инструмента рассматриваются средний период стойкости T_C и гамма - процентный период стойкости T_γ - время резания, в течение которого инструмент с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах, не достигает отказа [2]:

$$T_C = a\Gamma(1+1/b); T_\gamma = a(-\ln(\gamma/100))^{1/b}; \gamma = 100 \exp\left[-\left(\frac{T_\gamma}{T_C}\right) \cdot \Gamma(1+1/b)^b\right] \quad (2)$$

где a, b - параметры масштаба и формы закона распределения Вейбулла - Гнеденко; $\Gamma(1+1/b)$ - гамма-функция.

Коэффициентом вариации стойкости V_T :

$$V_T = \sqrt{\frac{\Gamma(1+2/b) - \Gamma^2(1+1/b)}{\Gamma(1+1/b)}}; b(V_T) = \exp(-1,09 \ln V_T). \quad (3)$$

Коэффициент, характеризующий соотношение гамма - процентного периода стойкости режущего инструмента T_γ со средним периодом стойкости T_C :

$$K_\gamma = T_\gamma/T_C = [-\ln(\gamma/100)]^{1/b} / \Gamma(1+1/b). \quad (4)$$

В представляемой работе оценка производительности осуществляется на основании критерия оптимизации, для которого целевая функции, выражающая

зависимость критерия K_p от параметра оптимизации T имеет вид:

$$K_p(T) = (aT^m + at_c T^{m-1})^{-1}, \tag{5}$$

где $a = \pi D L t^{x_v} S^{y_v} / 1000 C_V K_V$ – постоянный коэффициент; D – диаметр обрабатываемой поверхности; L – длина обработки; V – скорость резания; S – подача; C_V, K_V – коэффициенты и x_v, y_v, m – показатели, которые характеризуют степень влияния глубины t_s , подачи S и стойкости T на скорость резания V , определяемые в зависимости от условий эксплуатации.

При рассмотрении стойкости режущего инструмента как случайной величины необходимо и целевую функцию рассматривать как функцию случайного аргумента [3] с математическим ожиданием:

$$M_p(T) = a(T^m + t_c T^{m-1})^{-1} + \frac{a}{2} \frac{\partial^2}{\partial T^2} (T^m + t_c T^{m-1})^{-1} (V_T T)^2. \tag{6}$$

Закономерности изменения математического ожидания целевой функции $K(T)$ в зависимости от периода стойкости инструмента T целесообразно рассматривать на основании относительной функции $M_{op} = M_p/K_p(T)$. Графики двухпараметрической зависимости математического ожидания целевой функции M_{op} от периода стойкости инструмента T и коэффициента вариации V_T представлены на рис. 1.

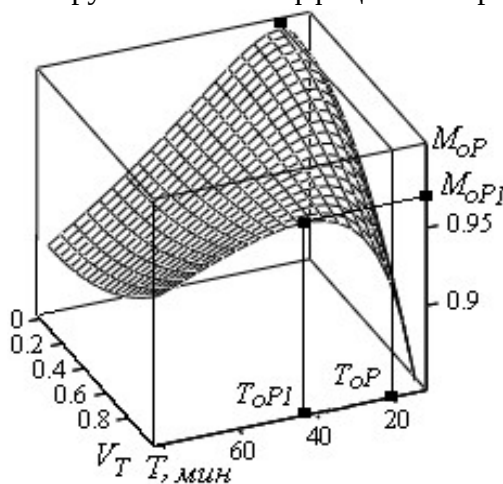


Рисунок 1. Графики зависимости математического ожидания целевой функции M_{op} от периода стойкости инструмента T и коэффициента ее вариации V_T

График свидетельствует об экстремальном характере зависимости целевой функции производительности M_{op} от параметра оптимизации - периода стойкости T , однако с увеличением коэффициента вариации стойкости V_T оптимальный период стойкости возрастает ($T_{op1} > T_{op}$), а производительность снижается ($M_{op} < 1$). При этом изменяется не только величина целевой функции, но и оптимальное значение случайного аргумента. Оптимальный период стойкости с учетом случайного характера ее распределения по критерию производительности T_{op} [3]:

$$T_{op}(V_T) = \mu_p(V_T)(1/m - 1)t_{\tilde{n}}, \tag{7}$$

где $\mu_p(V_T)$ – поправочный коэффициент на оптимальный период стойкости по критерию производительности, учитывающий случайный характер распределения стойкости и коэффициент ее вариации V_T :

$$\mu_p(V_T) = e^{0,9(V_T - 0,3)}.$$

Для обеспечения заданного уровня безотказности режущего инструмента (стойкости с заданной вероятностью γ , или гамма - процентного периода стойкости режущего инструмента), при определении оптимального периода стойкости необходимо учесть поправочный коэффициент K_γ :

$$T_{oPy}(V_T) = T_{oP}(V_T) / K_Y(V_T). \tag{8}$$

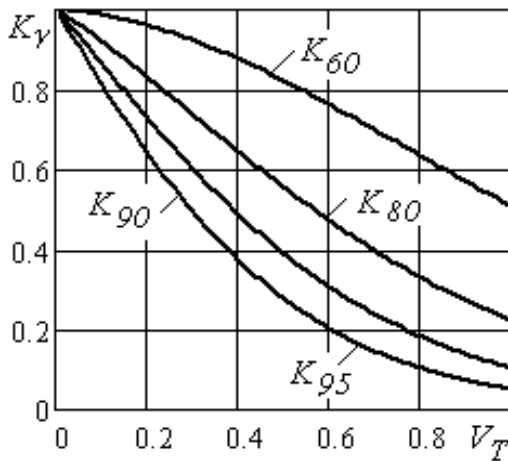


Рисунок 2. Графики зависимости поправочного коэффициента K_Y от коэффициента вариации стойкости режущего инструмента V_T

обеспечения заданного уровня безотказности (гамма – процента) может быть рассчитан следующим образом:

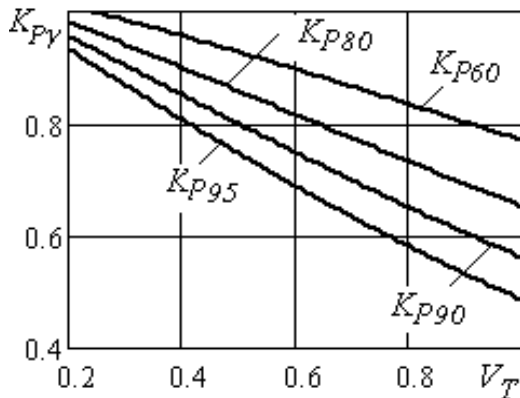


Рисунок 3. Графики зависимости поправочного коэффициента на производительность K_{Pv} от коэффициента вариации стойкости инструмента V_T

$\mu_P(V_T)$, а так же необходимое для обеспечения заданного уровня безотказности режущего инструмента снижение производительности $K_{Pv}(V_T)$:

$$K_P(V_T) = K_T^m [\mu_P(V_T)]^{-m} [K_Y(V_T)]^m. \tag{10}$$

Графики зависимости указанного общего поправочного коэффициента на производительность $K_P(V_T)$ в зависимости от коэффициента вариации стойкости инструмента V_T для различных значений гамма – процента γ и коэффициента повышения стойкости K_T представлены на рис.4.

Закономерности изменения поправочного коэффициента K_Y в зависимости от коэффициента вариации стойкости V_T представлены на рис. 2. Коэффициенты K_Y представлены для различных значений гамма – процента: $\gamma = 95\%$ (K_{95}); $\gamma = 90\%$ (K_{90}); $\gamma = 80\%$ (K_{80}); $\gamma = 60\%$ (K_{60}).

С увеличением коэффициента вариации стойкости V_T поправочный коэффициент K_Y существенно снижается, причем тем сильнее, чем выше требуемый уровень безотказности (гамма-процент). Следовательно, оптимальный период стойкости существенно возрастает, что может быть достигнуто за счет снижения скорости резания и потери производительности.

Коэффициент снижения производительности с учетом коэффициента вариации стойкости и необходимости

$$K_{Pv}(V_T) = [\mu_P(V_T)]^{-m} [K_Y(V_T)]^m. \tag{9}$$

На рис. 3 представлены графики указанных поправочных коэффициентов на производительность K_{Pv} в зависимости от коэффициента вариации стойкости инструмента V_T для различных значений гамма – процента (заданного уровня безотказности). Чем больше коэффициента вариации стойкости V_T и выше требуемый уровень безотказности, тем ниже производительность.

В общем случае, коэффициент изменения производительности, учитывающий как коэффициент возможного повышения стойкости режущего инструмента K_T вследствие различных мероприятий, так и поправочные коэффициенты, учитывающие случайный характер распределения стойкости

При анализе возможностей повышения производительности за счет повышения стойкости без учета ее случайного характера ($V_T = 0$) рассчитываются максимально возможные значения коэффициентов повышения производительности $K_p = 1,15$ ($K_T = 2$); $K_p = 1,25$ ($K_T = 3$); $K_p = 1,15$ ($K_T = 4$).

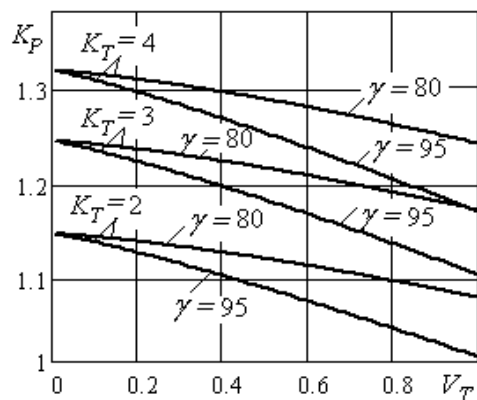


Рисунок 4. Графики зависимости общего поправочного коэффициента на производительность $K_p(V_T)$ от коэффициента вариации стойкости инструмента V_T

С увеличением коэффициента вариации стойкости V_T поправочный коэффициент K_p существенно снижается, причем тем сильнее, чем выше требуемый уровень безотказности режущего инструмента (гамма-процент).

В случае, когда $V_T = 1$, гамма-процент $\gamma = 95\%$, двухкратный рост стойкости режущего инструмента не приведет к повышению производительности.

Выводы.

Разработана методика расчета производительности обработки с учетом закона распределения стойкости инструмента как случайной величины с обеспечением заданного гарантированного уровня безотказности режущего инструмента. Установлены коэффициенты изменения производительности для различных коэффициентов вариации стойкости инструмента и заданного уровня безотказности режущего инструмента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Старков, В. К. Физика и оптимизация резания материалов / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 2009. – 640с.
2. Ивченко, Т. Г. Прогнозирование параметров закона распределения стойкости режущего инструмента как случайной величины / Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ. - 2016. - № 3(54). - С. 49-54.
3. Ивченко, Т. Г. Оптимизация режимов резания с учетом случайного характера стойкости режущего инструмента / Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ. - 2017. - №4 (59). – С. 24-30.
4. Михайлов, А. Н. Учет случайного характера стойкости режущего инструмента при оптимизации режимов резания по критерию себестоимости / А. Н. Михайлов, Т. Г. Ивченко, И. А. Петряева // Научно-технический и производственный журнал. – М: Машиностроение. – 2018. – № 3(69). - С 3-9.
5. Ивченко, Т. Г. Оценка возможностей повышения эффективности обработки при использовании СОТС / Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ. - 2018. - №. 1 (60). – С. 37-43.
6. Ивченко, Т. Г. Обеспечение гарантированного уровня безотказности режущего инструмента при оптимизации режимов резания / Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ. - 2019. - № 1 (64). – С. 23-28.

Поступила в редколлегию 11.05.2019 г.