

УДК 621.9.025

**Д-р техн. наук Е. В. Мироненко***Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

*Анализируется возможность использования коэффициента вариации стойкости как показателя, характеризующего стабильность работы режущих инструментов при многокритериальной оптимизации регламентов эксплуатации режущего инструмента.*

**Ключевые слова:** *стабильность работы режущих инструментов, коэффициент вариации стойкости, многокритериальная оптимизация.*

При системном математическом описании функционирования режущего инструмента и всей технологической системы выявляется большая роль стабильности технологического процесса. Стабильность работы режущих инструментов определяется многими факторами: выбором инструментального материала; конструкцией режущего инструмента; технологией изготовления режущих инструментов; условиями их эксплуатации; точностью формы и размеров заготовки; постоянством физико-механических свойств обрабатываемого материала. При обработке на автоматизированных станках, чистовой обработке ответственных деталей и в некоторых других случаях стабильность обработки оказывает значительное влияние на время восстановления, расход инструмента и, в конечном итоге, на затраты на обработку.

Для оценки стабильности работы режущего инструмента различные исследователи вводят различные показатели. Наиболее часто в качестве такого показателя выступает гамма-процентная стойкость  $T_\gamma$ , как, например, в [1], энтропия, удельный износ по основным элементам режущей части инструментов, а также допустимые уровни рассеивания параметров функционирования режущего инструмента [2].

В настоящей работе в качестве показателя стабильности работы режущего инструмента принят коэффициент вариации стойкости  $W_T$ . Это обусловлено следующими причинами:

1.  $W_T$  в отличие от  $T_\gamma$  является относительным показателем, что позволяет сравнивать стабильность работы режущего инструмента в разных условиях, когда значения стойкости значительно отличаются.

2. В отличие от энтропии зависимость  $W_T$  от ряда факторов и его влияние на многие показатели детально исследованы в работах ДГМА и некоторых других организаций. Поэтому возможно сопоставление данных.

3. Коэффициент вариации стойкости является весьма операциональным показателем. Он способствует определению закона распределения стойкости, физической природы отказов, методов повышения надежности и т.д.

4.  $W_T$  легко определяется, причем наряду с более точными существуют и экспресс-методы.

Прежде всего было установлено, какие значения коэффициентов вариации имеют место в условиях данной работы (наружного точения стали резцами с пластиной твердого сплава; станок с  $D_c = 1000$  мм, задаваемые глубины резания  $t = 4...8$  мм; диапазон подач  $s = 0,75...1,3$  мм/об, диапазон скоростей резания  $v = 50...150$  м/мин). Известно, что для напайных резцов в условиях тяжелого машиностроения  $W_T$  колеблется до 1,0 и более, а среднее значение составляет 0,6. На рисунке 1 приведен расширенный анализ распределений стойкости резцов  $H = 40$  мм с многогранными пластинами (квадрат и ромб) из сплава Т5К10 с различными покрытиями при точении теплостойких сталей (главным образом — 36Х2НМФА), обработка производилась по корке и без корки с глубиной резания 7,5–10,0 мм, подачей 0,6–0,9 мм/об и скоростью резания 40–107 м/мин (кривая 1). Эти условия для сталей указанного класса являются тяжелыми. Результаты были следующие: диапазон изменения коэффициента вариации 0,06–0,44, среднее значение — 0,25. Кривая плотности распределения асимметрична. Большинство значений  $W_T$  лежит в области малых коэффициентов вариации (модальное значение — 0,2). Кривая близка к нормальному закону распределения стойкости, что связано с высокой культурой производства, высокими требованиями к качеству продукции, использованию прогрессивного режущего инструмента. Кривая плотности распределения коэффициента вариации стойкости для напайных резцов (кривая 2) приведена для сравнения.

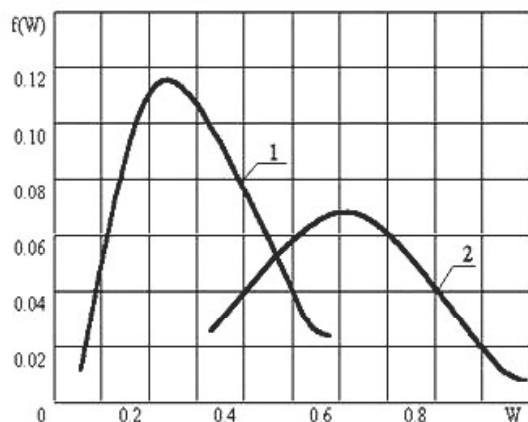


Рис. 1. Распределение коэффициента вариации стойкости: 1 – резцы с СМП и покрытиями; 2 – напайные резцы

Подробно исследовалась взаимосвязь коэффициента вариации стойкости с другими показателями работы режущего инструмента. Часть этих показателей представлена на рисунке 2. При точении в тяжелых условиях большинство факторов действуют на коэффициент вариации стойкости через вероятность разрушения: между  $W_T$  и  $q$  существует почти прямопропорциональная зависимость. Однако, на самом деле многие факторы одновременно действуют на  $W_T$ . К ним относятся: материал режущего лезвия и конструкция инструмента, материал заготовки и состояние ее поверхностного слоя. С ростом твердости обрабатываемого материала увеличивается  $q$ , в связи с чем растет и  $W_T$ . Кроме того, имеет место рассеивание свойств материала заготовки, которые действуют непосредственно. При переходе от напайного инструмента к инструменту с СМП  $q$  может увеличиваться, а может и умень-

шаться в связи с изменением прочности, но независимо от этого  $W_T$  уменьшается в связи с повышением качества режущей пластины и однородности ее свойств. Указанное прямое влияние на  $W_T$  учесть в функциях затруднительно. Влияние скорости резания на коэффициент вариации стойкости имеет место как через вероятность разрушения  $q$ , так и непосредственное. Для средних станков соответствующая зависимость приведена на рисунке 3. Она была получена с помощью банка данных и относится к обработке сталей НВ = 220240, с глубиной резания  $t = 4-20$  мм, подачей  $s = 0,3-1,5$  мм/об, резцами с пластинами Т5К10. Такое непосредственное влияние скорости отчасти объясняется тем, что при малых скоростях растет стойкость инструмента и соответственно – число случайных отказов, вероятность наступления которых зависит только от времени. Низкая стабильность при относительно малых скоростях также связана с явлением наростообразования.

С учетом изложенного прогнозируемое влияние основных факторов на коэффициент вариации стойкости выражается уравнением

$$W_T = \frac{C_W q^{x_W}}{v^{m_W}},$$

где для рассматриваемых сталей  $x_W = 1,0$ , а  $m_W$  при точении в диапазоне наиболее распространенных скоростей принимается равным 0,5. Значение  $C_W$  на основе статистических данных принято следующим: 17 – для напайных резцов; 13,5 – для резцов со сменными перетачиваемыми пластинами; 11 – для резцов с СМП. Значение  $C_W$  для конкретных конструкций далее принималось на основе производственных испытаний резцов.

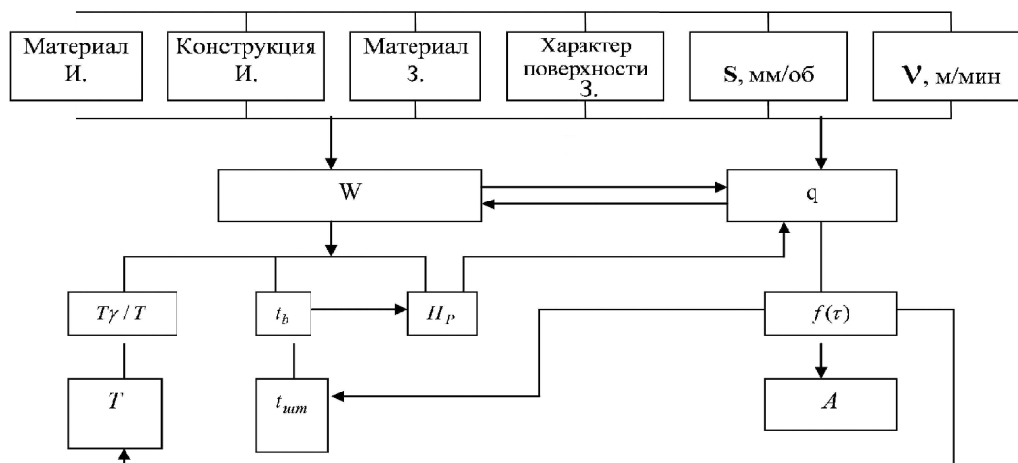


Рис. 2. Взаимосвязь коэффициента вариации стойкости и некоторых функций (И – инструмент; З – заготовка)

Имеет место целая сеть связей, вызванная тем обстоятельством, что при строгом рассмотрении в целевые функции нельзя подставлять среднюю стойкость, а нужно подставлять серию ее случайных значений, распределенных с плотностью  $f(\tau)$ . Тогда на выходе имеют место распределения штучного времени, затрат и т.д. Решить такую задачу как многокритериальную сложно.

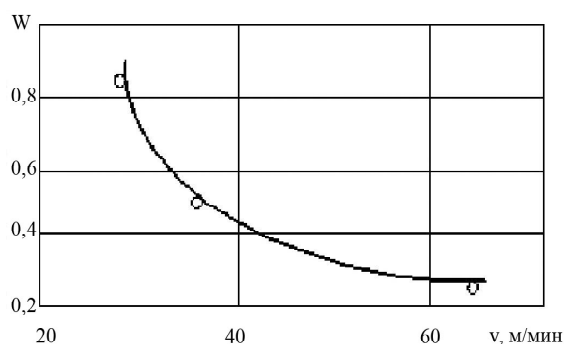


Рис. 3. Зависимость коэффициента вариации стойкости от скорости резания

Формула напряженности труда рабочего, учитывающая величину коэффициента вариации стойкости, была получена на основании работы [3]:

$$H_p = C'_H \frac{t_B H}{T} + \frac{C''_H W_T}{t_o}$$

Таблица 1 – Функции для многокритериальной оптимизации режимов резания и параметров инструмента на средних токарных станках

Функция	Формула	Примечание
Показатель стабильности обработки	$W_T = \frac{C_n q}{\sqrt{v}}$	1) Функциональное ограничение (0,3 < $W_T$ < 0,7) 2) Целевая функция $\rightarrow \min$
Вспомогательное время	$t_b = t_w W_T \sqrt{H}$	Исходная функция
Напряженность труда	$H_p = 0,074 \sqrt{\frac{t_b H D_c}{T} + \frac{C_H W_T}{t_o}}$	Целевая функция $\rightarrow \min$

Таблица 2 – Значения показателей для частных минимумов

N п/п	Минимум по критерию	Приведенные затраты, A	Штучное время, $t_{шт}$	Напряженность труда, $H_p$	Расход тв. сплава, $R_c$	Стойкость, T, мин	Коеф. вариации стойкости, $W_T$	Подача s, мм/об	Скорость резания, v, м/мин
1	$A_{\min}$	1,07	1,88	0,94	0,89	66,3	0,54	1,01	102
2	$t_{шт\min}$	1,29	1,02	1,45	1,61	24,6	0,48	1,5	150
3	$H_{p\min}$	1,73	3,73	0,19	0,91	91	0,04	0,3	150
4	$R_{c\min}$	1,29	3,1	0,74	0,52	90	0,45	0,659	89,9

где  $C'_H$  – коэффициент, характеризующий условия обработки и уровень физической нагрузки;  $C''_H$  – коэффициент, характеризующий уровень психофизиологической нагрузки по сравнению с уровнем физической нагрузки. Степень влияния факторов соответствует условиям заводов тяжелого машиностроения.

При исследовании возможности использования коэффициента вариации стойкости в качестве показателя стабильности обработки и представления его в виде целевой функции учитывалось, что он зависит от многих параметров и, в свою очередь, влияет на многие показатели и целевые функции. С другой стороны, часть механизмов влияния  $W_T$  на целевые функции оценена только статистически, а в некоторых случаях с помощью экспертных оценок. Поэтому оценки этого влияния не являются точными и могут несколько изменяться в зависимости от условий производства. Поэтому коэффициент вариации стойкости имеет смысл выделять в самостоятельную целевую функцию при автоматизированной обработке, высоких требованиях к качеству и стабильности технологического процесса.

С учетом для многокритериальной оптимизации режущего инструмента дополнительно к используемым [4], предложены следующие функции (табл. 1).

В результате проведенных оптимизационных расчетов были получены следующие значения частных минимумов целевых функций (табл. 2).

**Выводы**

Показана большая роль стабильности обработки, характеризуемой коэффициентом  $C_w$  и коэффициентом вариации стойкости. Их уменьшение в пределах практически встречающихся значений приводит к снижению затрат на 14 %, штучного времени в 1,5 раза, напряженности труда в 2,2 раза.

**Перечень ссылок**

1. Клименко Г. П. Основы рациональной эксплуатации режущего инструмента. — Краматорск : ДГМА, 2006. — 200 с.
2. Ивченко Т. Г. Определение законов распределения параметров процесса резания на основе статистического моделирования / Т. Г. Ивченко, А. А. Пустовой // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XIV межд. конф. — Донецк : ДонНТУ, 2007. — Т. 2. — С. 89–91.
3. Еськов А. Л. Многокритериальная оптимизация процесса механообработки с учетом его стабильности и трудового потенциала станочников/ А. Л. Еськов, Г. Л. Хагет, Л. М. Зуева // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. — Краматорск : ДГМА, 1997. — С. 147–156.
4. Мироненко Е. В. К определению весомости критериев при оптимизации выбора режущего инструмента и режимов резания / Е. В. Мироненко, Л. В. Васильева // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. — Краматорськ: ДДМА, 2004. — Вип. 16. — С. 159–165.

Поступила в редакцию 18.06.2010

**Мироненко Є.В. Дослідження стабільності обробки експлуатації ріжучого інструменту при багатокритеріальній оптимізації**

*Аналізується можливість використання коефіцієнта варіації стійкості як показника, що характеризує стабільність роботи ріжучих інструментів при багатокритеріальній оптимізації регламентів експлуатації ріжучого інструменту.*

**Ключові слова:** стабільність роботи ріжучих інструментів, коефіцієнт варіації стійкості, багатокритеріальна оптимізація.

**Mironenko E. Research of influencing stability of treatment on regulations of exploitation of cutting instrument during the multicriterion optimization**

*Possibility of use of coefficient of variation of firmness is analysed as an index, characterizing stability of work of cutting instruments during the multicriterion optimization of regulations of exploitation of cutting instrument.*

**Key words:** stability of work of cutting instruments, coefficient of variation of firmness, multicriterion optimization.