УДК 621.002

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ КРИТЕРИЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ИНВАРИАНТНОГО К РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ

Медведев В.В., Медведев В.С., Толкач В.В. *(ДонНТУ, ДГМА, ДонНТУ, г. Донецк, г. Краматорск, г. Донецк, ТМ-06б, Украина, vadim.medvedev@ua.fm)*

Аннотация. *В статье приведен анализ существующих критериев диагностики состояния режущего инструмента. Предложен новый критерий, основанный на анализе производной функции износа во времени. Критерий может быть без каких-либо условий применён к широкому диапазону режимов резания: от силового резания до сверхтонкой лезвийной обработки. Даны рекомендации по построению диагностического устройства. Для значительного увеличения надёжности предложено его построение на дискретных электрических компонентах, образующих обученную искусственную нейронную сеть.*

Ключевые слова: *диагностика, износ инструмента, искусственная нейрсеть.*

1. Введение. В настоящее время метод косвенного контроля режущего инструмента является основным методом для прогнозирования (диагностики) в условии автоматизированного производства. При этом используются физические факторы процесса резания, которые изменяются пропорционально износу инструмента**.** Заданному критерию износа режущего инструмента соответствует критериальное значение уровня диагностического сигнала, по достижению которого режущий инструмент считается изношенным. Обычно устанавливаются два критерия: критерий предельного износа и критерий поломки инструмента.

2. Основное содержание и результаты работы. Анализ существующих критериев диагностики режущего инструмента. Критерии, применяемые в настоящее время, можно классифицировать по ряду признаков на рисунке 1. В основу классификации положены характер проявления критериев и их информативность.

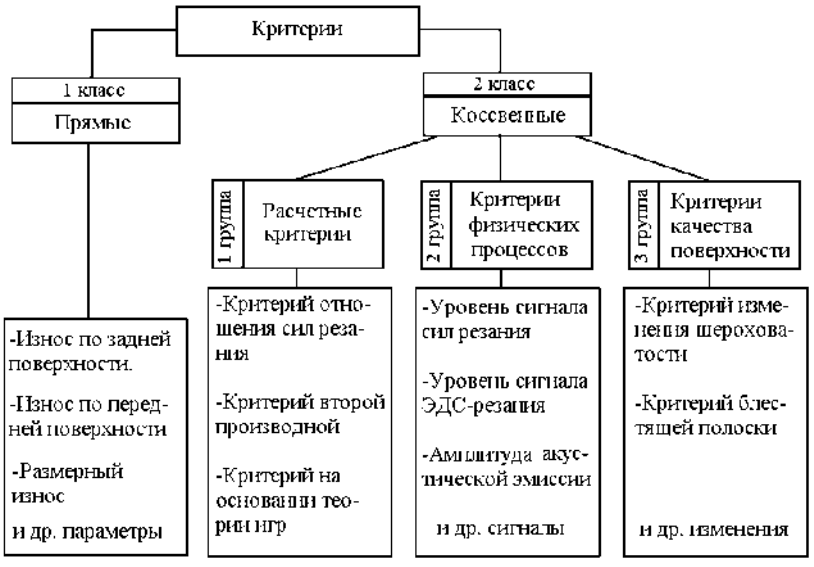

Рис. 1. Классификация критериев

Как показано на рисунке, все возможные критерии, можно разделить на два класса; критерии для прямого контроля и критерии для косвенного контроля. Критерии 1 класса, как правило, устанавливаются на основании производственного опыта. Их значения заносятся в общемашиностроительные нормативы, а для контроля применяются прямые измерения в перерывах между обработкой заготовок.

Критерии второго класса разделяются на три группы: расчетные критерии, критерии физических процессов и критерии, связанные с качеством поверхности. Для автоматических производств больший интерес представляют косвенные диагностические сигналы и их критерии. Вместе с тем, надежность контроля при их использовании существенно ниже из-за неоднозначных процессов, проходящих в технологической системе. Этот класс имеет три группы по характеру их проявления. В работе рассматривают только критерии 2 класса, 1 группы как инвариантные к условиям обработки и имеющие наивысшую информативность.

Сущность критерия отношений составляющих сил резания состоит в том, что отношения $\frac{P_z}{P_x};\frac{P_z}{P_y};\frac{P_z}{\sqrt{P_x^2+P_y^2}}$ для острого инструмента, является величиной постоянной. Оно изменяется только при увеличении износа инструмента. Существенным его недостатком является то, что постоянство указанных отношений не выдерживается для глубин резания меньше 1 мм [1].

Сущность критерия второй производной состоит в том, что вторая производная от износа по времени меняет свой знак в период катастрофического износа. Недостатком этого метода является то, что высокочастотные составляющие диагностического сигнала создают помехи. Поэтому, в диагностической системе возможны ложные срабатывания [2].

Разработка критерия, инвариантного к режимам резания. Критерий базируется на математическом аппарате позиционных дифференциальных игр в условиях неопределенности и неполной информации [3]. Процесс диагностики износа инструмента можно представить дифференциальным уравнением

$$h_3' = f(T, h_3, V, U),$$

где h_3 - фазовый вектор износа, а h_3' - его первая производная;

V - вектор множества режимов резания;

U - вектор поиска состояния, вырабатываемый диагностической системой.

При этом геометрическая интерпретация процесса диагностики приведена на рисунке 1. Здесь в пространстве событий $\{h_3, T\}$ существует множество N допустимых значений h_3. В этом множестве существует семейство векторов V_i, определяемых режимами резания $V_i = (t_i, s_i, u_i)$

Вектор поиска состояния U вырабатывается диагностической системой. Он представляет собой касательную в точке d к функции износа в момент времени T_d. Вектор U ограничивается множеством M, которое является пространством его существования. Пространство M ограничивается абсциссой τ и ординатой отстоящей от точки d на расстоянии τ.

Физическая сущность параметра τ является время дискретизации замера диагностического сигнала. Дискретизация замера проводится с целью фильтрации высокочастотной составляющей h_3, присутствующей во всех диагностических сигналах. Основанием для ввода дискретизации является то обстоятельство, что износ режущего инстру-

мента по своей сути является монотонно возрастающей функцией. Поэтому высокочастотные составляющие имеют побочную природу, не рассматриваемую в данной работе.

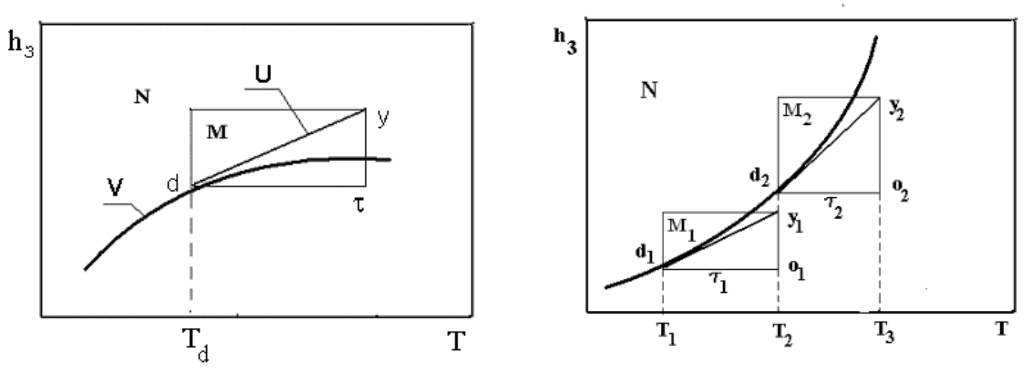

Рис. 2. Геометрическая интерпретация разработанного критерия

Тогда состояние режущего инструмента можно оценить функционалом γ:

$$\gamma = f(h_3[T_d]V[T_d]U[T_d], T_0 \le T_d \le T).$$

Согласно теории дифференциальных позиционных играх физической сущностью функционала является величина ошибки диагностирования. Он определен для всех возможных реализаций в пределах времени $(t_0 \le t < \tau)$ Его текущая позиция находится в области *M*, а конечная - в области *N*. В текущих позициях *d* справедливо условие:

$$\{t, h_3[t]\} \in N, \quad \{t, h_3[t]\} \in M,$$

В конечной позиции *d*, которая соответствует моменту времени τ:

$$\{t, h_3[t]\} \in N, \quad \{t, h_3[t]\} \notin M,$$

Оценку функционала γ можно найти на основе метода интегрирования быстроменяющихся функций. Для этого устанавливается величина дискреты, которая составляет:

$$\tau = \sqrt{2\pi \frac{h_3^3(T_d)}{h_3''(T_d)}},$$

где $h_3''(T_d)$ - вторая производная функции износа в точке *d*.

Формула удобно реализуется на ЭВМ или набором операционных усилителей в случае применения аналоговой техники.

Для разработки алгоритма диагностики введем понятие коэффициента повышения информативности *m*, который равен:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{d_2 - d_1}.$$

Его физический смысл состоит в факте повышения информативности в *m* раз по сравнению с информативностью средств прямого преобразования диагностического сигнала.

Теоретически коэффициент m может принимать значения $-\infty \le m \le +\infty$. Однако, диапазон применяемых режимов резания ограничивает его значения. Как следует из формулы, он является безразмерной величиной. Кроме того, он инвариантен к режимам резания. В реальных условиях проведения диагностики режущего инструмента он имеет четыре варианта значений.

Значения, принимаемые коэффициентом *m*, приведены в таблице 1. Отсюда следует, что устойчивая работа технологической системы возможна при *m=0*. В этом случае приращения $\Delta y_1 = \Delta y_2$.

Таблица 1. Значения, принимаемые коэффициентом m

	При m<0	При m = 0	При m = 1	При m>0
Случай 1	$y_2 - y_1 < 0$ $d_2 - d_1 > 0$ - Износ растет. - Угол заострения резца уменьшается.	$y_2 - y_1 = 0$ $d_2 - d_1 > 0$ -Устойчивая работа при постоянном установившемся износе инструмента.	$y_2 - y_1 = d_2 - d_1$ и $y_2 - y_1 < 0$ $d_2 - d_1 < 0$	$y_2 - y_1 < 0$ $d_2 - d_1 > 0$
Случай 2	$y_2 - y_1 > 0$ $d_2 - d_1 < 0$ - Угол заострения резца уменьшается.	$y_2 - y_1 = 0$ $d_2 - d_1 < 0$	$y_2 - y_1 = d_2 - d_1$ и $y_2 - y_1 > 0$ $d_2 - d_1 > 0$	$y_2 - y_1 < 0$ $d_2 - d_1 > 0$

Разработка программно-аппаратного комплекса. Рассмотренный критерий реализован программно-аппаратными средствами по блок-схеме приведенной на рисунке 3.

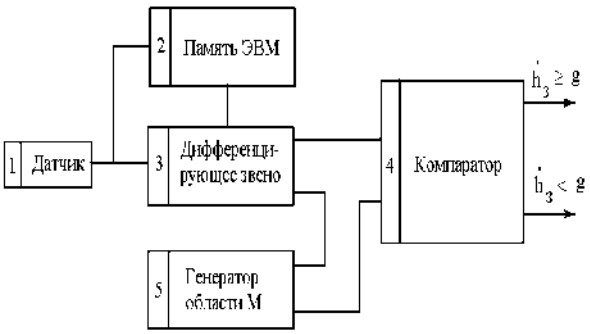

Рис. 3. Блок-схема диагностической установки

Диагностический сигнал с датчика 1 поступает в компьютер, где он может быть записан в память 2. Далее сигнал дифференцируется 3 и подается на компаратор 4. Сюда же подаются результаты генерирования области *М*. Частота генерирования устанавливается оператором. Генератор задает, также, дискретность процесса диагностирования.

Одним из требований к таким устройствам является высокая надёжность и устойчивость к помехам. При этом погрешность работы устройства, без особого влияния на результаты, может составлять несколько процентов. Это связано с тем, что погрешность определения износа для современных методов составляет более 5%. При таких исходных условиях нерационально применять цифровые устройства. Гораздо надёжнее

использовать системы, построенные на дискретных элементах. Это значительно снижает стоимость устройства по сравнению с аналогами [4], облегчает его обслуживание и значительно уменьшает количество сбоев.

Одним из самых сложных блоков, при построении таких систем является определение производной медленно изменяющейся функции износа, которая производится в блоках 3. Так как одна полуволна этой функции равна периоду стойкости инструмента, что составляет десятки минут, применение обычных дифференцирующих электрических цепочек не представляется возможным. Поэтому было решено построить систему на основе аналоговых элементов, реализующих искусственную нейронную сеть (нейросеть), обученную на определение описанного критерия [5].

Для первоначального обучения нейросети использовались кривые износа инструмента, показанные на рисунке 4.

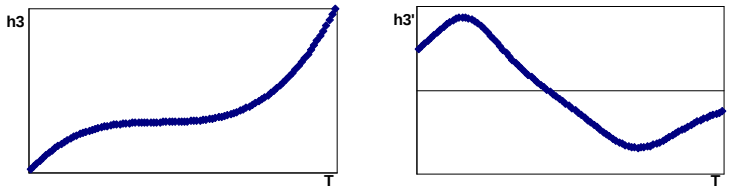

Рис. 4. Тестовая кривая и её производная

Для определения динамики износа, обучения проводилось методом окна. Ширина окна выбиралась по минимальному интервалу, необходимому для определения первой производной. Обученная нейросеть (нейромодель) после сокращения представляет собой однослойную структуру из трёх нейронов, представленных на рисунке 5. На синапсах указаны веса связей. Индексы входов означают количество тактов запаздывания при обучении по методу окна.

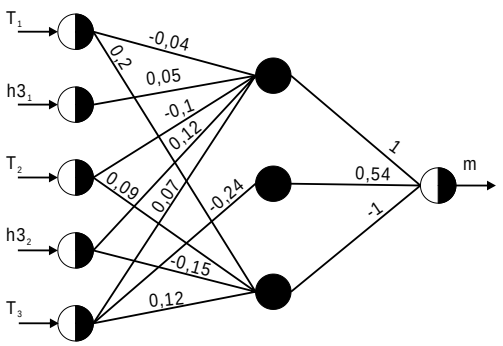

Рис. 5. Нейромодель, реализующая расчёт критерия износа

Указанная нейромодель может быть реализована на дискретных элементах. Так как веса связей не превышают единицу по модулю, то они реализуются резисторами. Входные и выходной нейроны имеют только масштабирующую функцию и могут быть реализованы линейными усилителями. Три нейрона заключают в себе нелинейное преобразование по функции сигмоиды и реализуются дифференциальными усилителями с сильной положительной обратной связью (ПОС). В итоге, для работы достаточно использовать шесть линейных усилителей и три с ПОС. Это позволяет создать систему на двух микросхемах OPA404AG, содержащих в себе по четыре дифференциальных усилителя с высоким входным сопротивлением.

Экспериментальные подтверждения. Для подтверждения теоретических изысканий были проведены серии экспериментов. Исследования проводились на токарном станке 1К62. Обрабатывались заготовки из Стали 20Х, Стали 40ХС и Стали 45, резцами с МКП и материалом режущей части Т5К10 и Т15К6, главный угол в плане 45. Измерялись диагностические сигналы сил резания с универсального динамометра УДМ-600 усиленные в усилителе УТ4. В проведенных исследованиях надежность определения состояния инструмента составила в пределах 90-95%.

3. Заключение. Таким образом, разработанный критерий может быть применён независимо от режимов резания. В частности, это позволят применять его на станках с ЧПУ при обработке поверхностей сложной конфигурации в условиях постоянного изменения режимов резания. Устройство, контролирующего его строиться на двух аналоговых микросхемах, что значительно увеличивает его надёжность по сравнению с аналогичными цифровыми разработками.

Список литературы. **1.** Albert M. Monitoring systems of rigs // Modern Machine Shop – 2009. – №12. – С.61-68. **2.** Fili W. The supervisory control of edge tools // Werkstatt + Betrieb – 2009. – №12. – С.54-55. **3.** Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1974. - 456с. **4.** Остафьев В.А. Устройство для измерения скорости износа режущего инструмента в системах адаптивного управления процессом резания / В.А.Остафьев, Г.С.Тымчик, В.В.Шевченко // Приборостроение: Респуб. межведомст. научн.-техн. сб. – 1985. – Вып. 37. – С. 91-93. **5.** Медведев В.В. К вопросу о возможности использования нейросетевых анализаторов в составе механообрабатывающего оборудования / В.В.Медведев, В.С.Медведев // Нейросетевые технологии и их применение. Сборник трудов международной научной конференции «Нейросетевые технологии и их применение». – Краматорск: ДГМА, 2007. – С. 117-122.

Надійшла до редколегії 22.06.2010 р.

DEVELOPMENT AND STUDY OF THE CUTTING TOOL CONDITION DIAGNOSTICS CRITERION, WHICH IS INVARIANT TOWARDS CUTTING MODES

Medvedev V.V., Medvedev V. S, Pusher V.V. *(DNTU, DSEA, DNTU, Donetsk, Kramatorsk, Donetsk, Ukraine)*

In work the analysis of existing criterions of an evaluation of a condition of the cutting tool is conducted. Their classification is conducted. The criterion, invariant to modes of cutting is developed. The measure is inferred on the basis of the assaying of existing measure of diagnostic of an edge tool. Build-up of the device track ring pointed measure, bolted on discrete devices is offered. It considerably raises reliability of its operation. The device circuit diagrammed represents a tuned artificial neural net without tutoring function.

Key words: *diagnostics, tools wear, artificial neuronet.*

РОЗРОБКА Й ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЮ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ, ІНВАРІАНТНОГО ДО РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Медведєв В.В., Медведєв В.С., Штовхач В.В. *(ДонНТУ, ДДМА, ДонНТУ, м. Донецьк, м. Краматорськ, м. Донецьк, Україна)*

У статті запропоновано новий критерій діагностики, заснований на аналізі похідної функції зношування в часі. Критерій може бути без яких-небудь додаткових умов застосований до широкого діапазону режимів різання. Дано рекомендації з побудови діагностичного пристрою, який побудован на дискретних електричних компонентах, що утворять навчену штучну нейронну мережу.

Ключеві слова: *діагностика, зношення інструмента, штучна нейрмережа.*