

УДК 621.9.06

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И КОРРЕКЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*д-р техн. наук, доц. И.А. КАШТАЛЬЯН, А.А. КОЗОРЕЗ, А.В. ШПАК
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Рассмотрена задача оценки интенсивности изнашивания и определения состояния предельного износа режущего инструмента на токарных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) по изменению энтропийного коэффициента стабильности размеров обработанных заготовок. Представлены математическая модель и алгоритм расчета энтропийного коэффициента стабильности. Приведена структурная схема системы диагностирования режущего инструмента и обобщенный алгоритм ее функционирования. Описана имитационная модель диагностики состояния и коррекции режущего инструмента. Представлена структура базы данных для хранения информации о работоспособности режущего инструмента.

Введение. Режущий инструмент технологической системы может находиться в одном из следующих состояний: нормальном, предельного износа, поломанном (с повреждениями режущих кромок). При обработке нормальным инструментом (не доведенным до состояния предельного износа) все технологические параметры резания и качество обработки соответствуют установленным техническим требованиям. Проблемы возникают при определении состояния предельного износа, т.е. когда инструмент необходимо обязательно исключать из работы.

Для оценки возможности дальнейшего использования режущего инструмента при обработке данной или последующей заготовок производится контроль его состояния. Все существующие методы контроля делят на прямые и косвенные [1, 2].

Прямой контроль базируется на измерении геометрических параметров инструмента (размеров площадки износа, расстояния от вершины режущего инструмента до постоянной базы), которые изменяются при его износе, поломке или выкрашивании. Для прямого контроля используют оптические измерители размеров, лазерные устройства, тактильные датчики.

При косвенном контроле оценивают изменения параметров, зависящих от состояния инструмента (сила резания, температура, вибрации, мощность резания, акустическая эмиссия и др.). При этом в качестве объектов контроля используют непосредственно режущий инструмент, обрабатываемую заготовку, стружку и взаимодействие инструмента со стружкой и заготовкой. Для каждого из указанных объектов контроля существует свой набор контролируемых параметров. Косвенный контроль чаще производится путем измерения сил резания с использованием различных датчиков (тензометрических, пьезокварцевых, индуктивных, магнитострикционных). Датчики могут крепиться непосредственно к инструментам и корпусным деталям станка, а также встраиваться в оправки, револьверные головки или в шариковинтовые пары. Для анализа состояния режущего инструмента широко используется также мониторинг механических и звуковых колебаний, возникающих в процессе резания. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, износ значительно влияет на картину колебаний, а с другой – колебания сравнительно легко зафиксировать, например, с помощью датчиков ускорений.

Перспективным направлением оценки состояния режущего инструмента в процессе резания является использование акустической эмиссии (возникновение упругих волн при высвобождении внутренней энергии материала вследствие его деформаций, разрушения и фазовых превращений). Ее источниками могут быть пластическая деформация обрабатываемого материала, образование микротрещин в обрабатываемом и инструментальном материалах, скалывание стружки, а также трение между поверхностями заготовки, инструмента и стружки. Среди датчиков акустической эмиссии наибольший интерес представляют пленочные, которые устанавливаются непосредственно под режущей пластиной инструмента (работают в диапазоне частот от 50 кГц до 2 МГц).

Основная часть. Существующие алгоритмы автоматической фиксации предельного износа режущего инструмента построены для условий стационарного резания. При их разработке используется предпосылка – как сам износ, так и связанные с ним контролируемые параметры изменяются плавно и сравнительно медленно. В связи с этим резкое изменение величины параметра вблизи состояния предельного износа характерно только для случая поломки режущего инструмента. Фиксацию предельного износа еще в большей степени затрудняет наличие различных помех (шумов), возникающих в процессе измерения, а также отсутствие в большинстве случаев установленных корреляционных связей между измеряемым параметром и состоянием инструмента. Фактически даже в условиях стационарного резания

далеко не все косвенные методы контроля могут быть использованы для автоматизированных измерений в заводских условиях.

Включение модуля управления нестационарными процессами формообразования осуществляется по параметрам, задаваемым в кадре управляющей программы либо автоматически в зависимости от уровня силы резания или вибраций. В результате в течение одного рабочего хода часто реализуются различные законы изменения управляющего воздействия. При этом в широких пределах изменяются геометрические параметры сечения срезаемого слоя, кинематические углы режущего лезвия инструмента. Это определяет условия протекания пластического деформирования в зоне резания и оказывает существенное влияние на стабильность силового и температурного режимов, а также на стойкость режущего инструмента. Вследствие этого существующие косвенные методы оценки величины износа (по силам резания, вибрациям, акустической эмиссии в зоне резания и др.) могут оказаться неэффективными из-за необходимости решения при их реализации ряда дополнительных задач [3]. Основными из них являются: периодическое выявление причины, по которой параметр, используемый для оценки состояния инструмента, изменил свою величину; определение той доли значения параметра, которая зависит непосредственно от износа. Решение указанных задач сдерживается значительными затратами на включение в систему управления станком дополнительных датчиков и на расширение функциональных возможностей устройства ЧПУ. Поэтому появляется необходимость в разработке таких методов определения текущего и предельного износа режущего инструмента, которые могут быть эффективно использованы в условиях нестационарного резания и реализованы с минимальными финансовыми затратами.

Предлагаемый метод основан на прогнозной оценке состояния режущего инструмента по информационным критериям, в частности по изменению энтропийного коэффициента стабильности C_H размеров деталей, который определяется по скользящей выборке, содержащей некоторое конечное число n конкретных значений случайной величины (размер выборки) [3]. Коэффициент C_H является вероятностной оценкой стабильности процесса, что и позволяет использовать его для объективной прогнозной оценки интенсивности процесса изнашивания. Метод по сравнению с известными методами проще в реализации. Это связано с тем, что современные станки с ЧПУ, как правило, оснащены датчиком контроля размеров детали, а в технологическое программное обеспечение устройства управления включен модуль, реализующий различные циклы измерений. В результате размеры детали, полученные с целью коррекции режущего инструмента, могут быть использованы для диагностики его состояния. Причем решение задачи фактически сводится только к математической обработке результатов измерений.

Если случайное отклонение (погрешность) размера детали обозначить через Δ , то энтропийный коэффициент стабильности C_H определяется из соотношения [4]

$$C_H = H(\Delta) / [H(\Delta)]_{pb}, \quad (1)$$

где $H(\Delta)$ – энтропия закона распределения величины Δ , полученного в результате n измерений; $[H(\Delta)]_{pb}$ – энтропия при том же числе n равновероятных состояний.

Энтропия $H(\Delta)$ является функционалом закона распределения случайной величины Δ . Она учитывает особенности этого закона, определяет степень неопределенности полученных результатов. Для некоторого ряда значений n случайной величины Δ энтропия

$$H(\Delta) = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i,$$

где p_i – вероятность.

Когда состояния системы равновероятны, энтропия определяется по формуле:

$$[H(\Delta)]_{pb} = \ln n. \quad (2)$$

На основании ограниченного числа измерений размера деталей может быть построена ступенчатая гистограмма, которая в той или иной степени приближается к действительному закону распределения, характеризуемому энтропией, определяемой согласно работе [4]:

$$H(\Delta) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(\Delta) \ln p(\Delta) dx,$$

где $p(\Delta)$ – плотность вероятности величины Δ ; x – переменная интегрирования (соответствует значениям Δ на границах интервала интегрирования).

Поскольку гистограмма распределения размеров состоит из m интервалов (столбцов) с границами $x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_m$ и каждый интервал величиной $d_i = |x_i - x_{i+1}|$ включает в себя n_{d_i} размеров, то на протяжении каждого из интервалов $p(\Delta) = \text{const} = n_{d_i} / (nd_i)$. Энтропия такого ступенчатого распределения

$$H(\Delta) = - \sum_{i=1}^m \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{n_{d_i}}{nd_i} \ln \frac{n_{d_i}}{nd_i} dx.$$

После преобразований

$$H(\Delta) = \sum_{i=1}^m \frac{n_{d_i}}{n} \ln \frac{nd_i}{n_{d_i}}.$$

Если принять, что величина всех интервалов гистограммы $d_i = \text{const} = d$, то

$$H(\Delta) = \sum_{i=1}^m \frac{n_{d_i}}{n} \ln \frac{n}{n_{d_i}} + \ln d. \quad (3)$$

Подставив в зависимость (1) значение $H(\Delta)$ из формулы (3) и значение $[H(\Delta)]_{\text{ра}}$ из формулы (2), получим

$$C_H = \left(\sum_{i=1}^m \frac{n_{d_i}}{n} \ln \frac{n}{n_{d_i}} + \ln d \right) / \ln n. \quad (4)$$

В выражении (4) число n наблюдений должно быть таким, чтобы его можно было разбить на m (не менее пяти) интервалов величиной d , в крайние из которых попадает как минимум одно наблюдение. Известно [3], что такому условию удовлетворяет выборка, состоящая из 30 – 50 наблюдений.

Схема алгоритма расчета текущего значения коэффициента C_H приведена на рисунке 1. На схеме, кроме поясненных выше обозначений $C_H, d, d_i, m, n, n_{d_i}, H(\Delta)$, приняты следующие: s_i – число значений случайной величины, на которое осуществляется сдвиг выборки при расчете коэффициента C_H (шаг выборки); Δ_k – текущее значение случайной величины (погрешности размера), мкм; C_H^{lim} – предельное значение энтропийного коэффициента стабильности C_H ; $\min d$ – минимальное значение интервала, мкм; $\max d$ – максимальное значение интервала, мкм; j_s – вспомогательная переменная для определения первого элемента из выборки для расчета C_H ; j – номер текущего расчетного значения коэффициента C_H ; k – номер текущего элемента выборки; i, l – вспомогательные переменные для разбиения выборки на интервалы.

Структурная схема системы, реализующей предложенную информационную модель оценки состояния режущего инструмента, представлена на рисунке 2. Система содержит измерительное устройство детали 1, блок расчета рассогласования 2, блок формирования команды управления 3, устройство числового программного управления 4, блок управления приводом 5, привод подачи 6, блок суммирования 7, блок расчета энтропийного коэффициента стабильности 8, блок сравнения 9, блок сигнализации критического состояния инструмента 10, счетчик деталей 11, устройство автоматической смены инструмента 12, инструмент режущий 13. Система работает следующим образом. В устройство ЧПУ вводится управляющая программа формообразования детали, в которой кроме геометрической и технологической информации содержатся данные для расчета энтропийного коэффициента стабильности n, s, m . В программу также включаются циклы измерений. Предельное значение энтропийного коэффициента стабильности C_H^{lim} в устройство ЧПУ вводится с пульта оператора.

Перед началом изготовления очередной k -й детали предыдущая деталь измеряется с применением устройства 1. Далее полученный действительный размер детали Y_k сравнивается в блоке 2 расчета рассогласования с заданным размером Y_0 , поступающим в блок с устройства ЧПУ. Установленное при этом отклонение размера преобразуется в блоке формирования команды управления в сигнал, который поступает на блок управления приводом. В результате привод подачи обрабатывает перемещение, равное по величине погрешности размера.

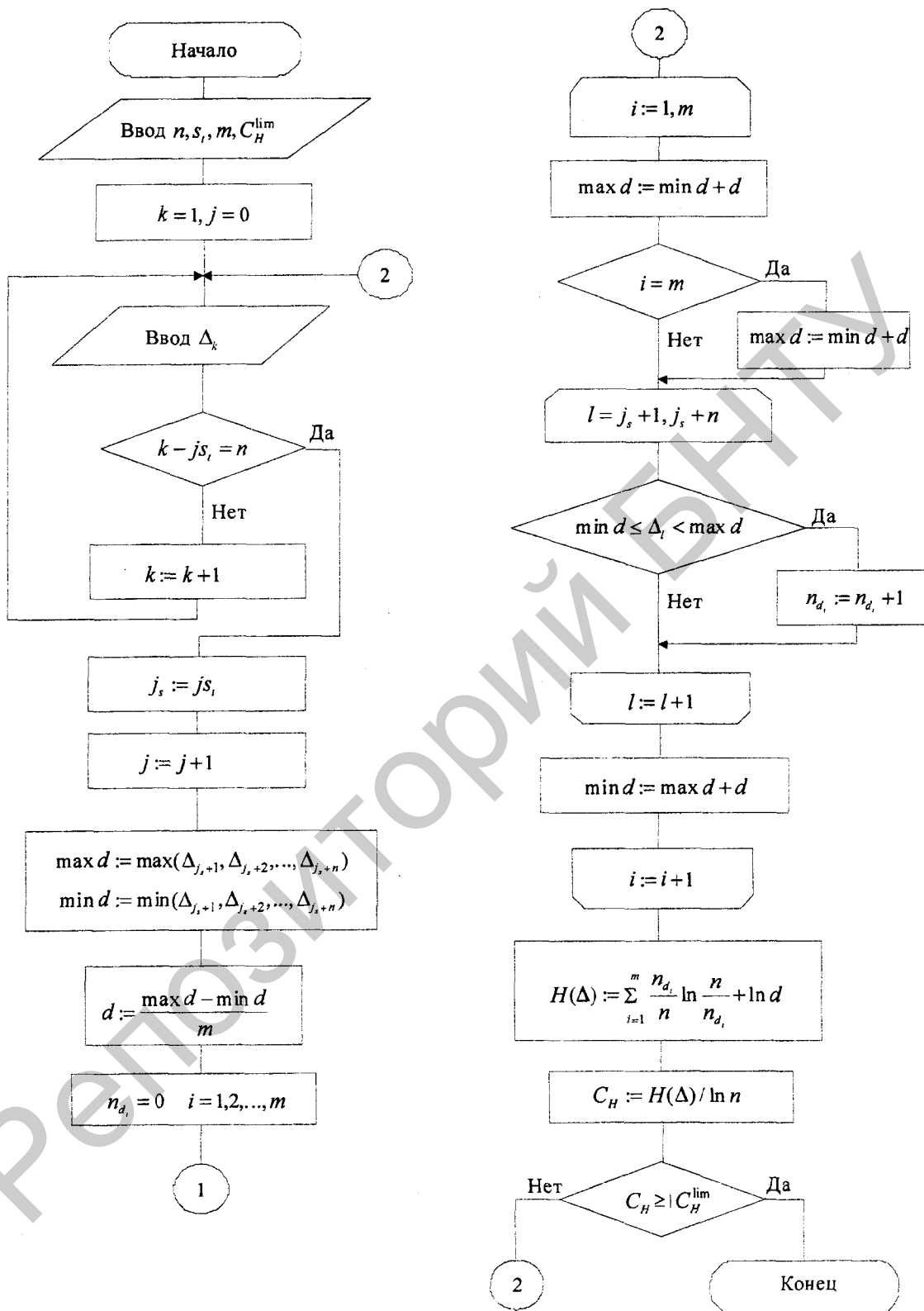


Рис. 1. Алгоритм расчета энтропийного коэффициента стабильности C_H

Контроль величины перемещения (поднастройки) осуществляется измерительным преобразователем (круговым или линейным), встроенным в привод подачи. Поднастройка может осуществляться автоматически каждый раз после измерения очередной детали либо после изготовления нескольких деталей по мере накопления определенной величины погрешности, определяемой точностью получаемых размеров. Информация о начальной координате, которая содержится в управляющей программе, и память

положения позволяют находить суммарную величину смещения исполнительного органа станка относительно технологических баз после очередного цикла поднастройки. Эта величина из устройства ЧПУ поступает на вход блока суммирования. На второй вход блока из блока расчета рассогласования поступает величина отклонения размера детали от заданного значения. При этом суммарная величина в блоке 7 соответствует размерному износу режущего инструмента и является текущей величиной для расчета энтропийного коэффициента стабильности размеров деталей, если бы они были определены без поднастройки.

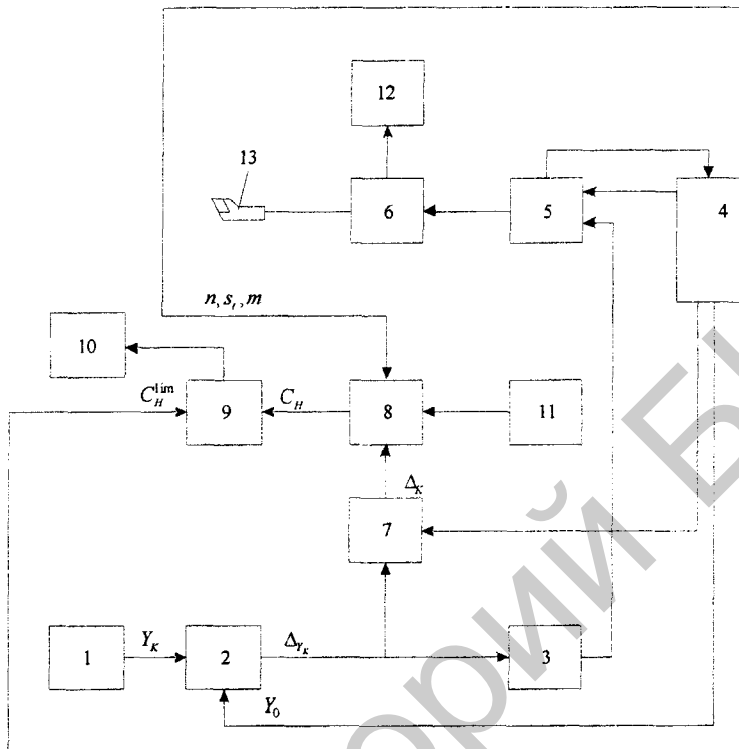


Рис. 2. Структурная схема системы диагностирования режущего инструмента

Полученная в блоке 7 суммарная величина поступает в блок 8, где совместно с другими данными, поступающими из устройства ЧПУ, используется для расчета C_N . В качестве таких данных используются параметры, характеризующие ступенчатую гистограмму практического распределения случайной величины Δ : n , m , s_i . Первый цикл вычисления коэффициента C_N будет выполнен, когда число измеренных деталей достигнет значения n (текущее значение n фиксируется счетчиком деталей 12). Последующие циклы вычисления C_N будут производиться после каждого очередного поступления в блок 8 суммарной величины, полученной в блоке 7. При этом новая выборка из n элементов каждый раз будет сдвигаться на один элемент (при условии, что $s_i = 1$).

Значение C_N , определенное в блоке 8, сравнивается в блоке 9 с заданным значением C_N^{lim} , которое поступает из устройства ЧПУ и соответствует наступлению предельного износа режущего инструмента. Величина C_N^{lim} выбирается в зависимости от особенностей процесса резания. Если текущее значение C_N становится равным или больше значения C_N^{lim} , на блок сигнализации поступает сообщение о необходимости смены инструмента.

Для компенсации погрешностей размерной настройки инструмента и для его подналадки при появлении отклонений получаемых размеров детали от номинальных значений на станках с ЧПУ предусмотрена коррекция инструмента. Ее производят путем смещения настроечной точки режущего инструмента относительно установочных элементов приспособления, связанных с системой координат станка. Величину коррекции определяют по результатам контроля размеров детали, производимого на координатно-измерительной машине (КИМ) или непосредственно на станке. Результаты измерений целесообразно использовать также для энтропийной оценки состояния режущего инструмента и автоматического определения номера детали, перед обработкой которой необходимо осуществлять коррекцию с целью исключения брака. Это позволит расширить технологические возможности станка с ЧПУ и повысить эффективность его эксплуатации в условиях нестационарного резания.

Каждое внесение коррекции сдвигает размер очередной детали в пределах поля допуска на величину этой коррекции. При этом возникает задача, которая заключается в учете текущих значений коррекции размера детали при формировании выборки, используемой для расчета энтропийного коэффициента стабильности.

Структурная схема системы, реализующей диагностику состояния режущего инструмента по результатам измерений для его коррекции, представлена на рисунке 3. Функцию расчета энтропийного коэффициента стабильности при этом выполняет непосредственно устройство ЧПУ [5].

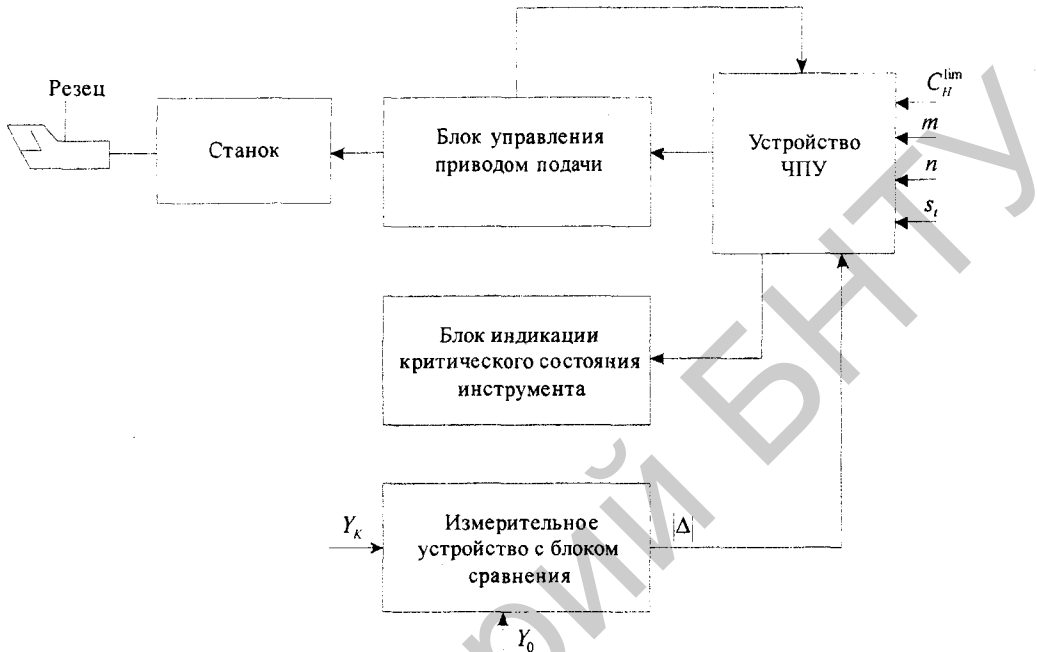


Рис. 3. Структурная схема системы диагностирования и коррекции режущего инструмента

Номер детали, перед обработкой которой необходимо осуществлять коррекцию инструмента, определяется путем совместного решения системы уравнений

$$\begin{cases} \Delta_{\tau} = a_k k_k + b_k, \\ \Delta_{\tau} = \Delta_b, \end{cases} \quad (5)$$

где Δ_{τ} – текущее значение погрешности контролируемого размера детали, мкм; k_k – номер погрешности Δ_{τ} после очередной коррекции инструмента; Δ_b – верхнее предельное значение погрешности размера, мкм; a_k, b_k – коэффициенты уравнения прямой.

Первое уравнение системы (5) аппроксимирует дрейф погрешности контролируемого размера, второе определяет верхнюю границу погрешности.

Абсцисса точки пересечения прямых, описанных системой (5), указывает на номер детали, перед обработкой которой необходимо осуществлять коррекцию; назовем ее прогнозом коррекции. Обозначив величину k_k для $\Delta_{\tau} = \Delta_b$ через $k_{к.в.}$, из системы (5) найдем $k_{к.в.} = (\Delta_b - b_k) / a_k$.

Параметры a_k и b_k уравнения прямой (5) определяем по методу наименьших квадратов [6]. После преобразований получаем следующие выражения:

$$\begin{cases} a_k = 6 \frac{2A - (1 + k_k)B}{k_k^2 - 1}, \\ b_k = B - a(1 + k_k) / 2, \end{cases}$$

где $A = \frac{1}{k_k} \sum_{k_a=1}^{k_k} \Delta_{\tau.a} k_a$; $B = \frac{1}{k_k} \sum_{k_a=1}^{k_k} \Delta_{\tau.a}$; $\Delta_{\tau.a}$ – текущее значение погрешности контролируемого размера при расчете параметров прямой, аппроксимирующей дрейф погрешности; k_a – номер значения погрешности $\Delta_{\tau.a}$.

Обобщенный алгоритм функционирования канала системы диагностирования и коррекции режущего инструмента (проходного резца) при обработке наружных поверхностей вращения представлен на рисунке 4.

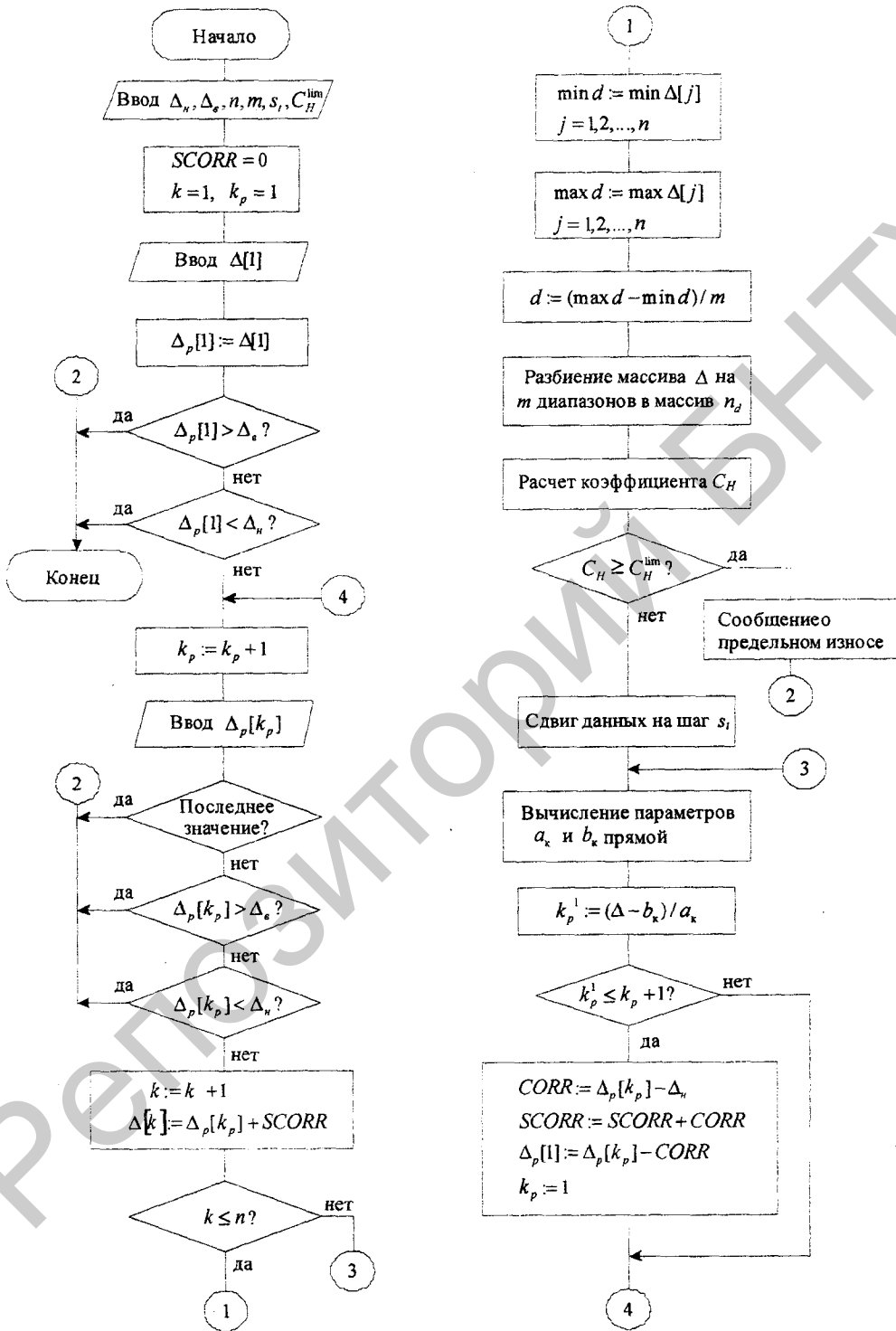


Рис. 4. Обобщенный алгоритм функционирования канала системы диагностирования и коррекции режущего инструмента

Здесь, кроме поясненных выше обозначений C_H , n , m , Δ , Δ_n , k_k , $k_{к.в}$, d , a , b , приняты следующие: Δ_n – нижнее предельное значение погрешности контролируемого размера (нижняя граница погрешности), мкм; $\Delta_{\text{ж}}$ – верхнее предельное значение погрешности контролируемого размера (верхняя граница

погрешности), мкм; n – число значений случайной величины (погрешности размера) для расчета коэффициента C_H (размер выборки); m – число интервалов (столбцов гистограммы); s_i – число значений случайной величины, на которое осуществляется сдвиг выборки при расчете очередного значения коэффициента C_H (шаг сдвига выборки); k – номер текущего значения погрешности контролируемого размера детали при расчете коэффициента C_H ; k_p – номер текущего значения погрешности контролируемого размера детали при прогнозе коррекции инструмента; $\Delta[1]$ – первое значение погрешности контролируемого размера детали при расчете коэффициента C_H , мкм; $\Delta_p[1]$ – первое значение погрешности контролируемого размера детали при прогнозе коррекции, мкм; $\Delta[k]$ – текущее значение погрешности контролируемого размера детали при расчете коэффициента C_H , мкм; $\Delta_p[k_p]$ – текущее значение погрешности контролируемого размера детали при прогнозе коррекции, мкм; d – ширина интервала (столбца гистограммы), мкм; $\min d$ – минимальное значение интервала, мкм; $\max d$ – максимальное значение интервала, мкм; n_d – массив выборки при расчете коэффициента C_H , разбитый на интервалы; C_H – энтропийный коэффициент стабильности; C_H^{lim} – предельное значение энтропийного коэффициента стабильности; i – вспомогательная переменная при расчете параметров прямой, аппроксимирующей дрейф погрешности контролируемого размера; j – номер текущего элемента выборки при определении ширины интервала; k_p^1 – прогноз коррекции; $CORR$ – коррекция режущего инструмента, мкм; $SCORR$ – накопленная (суммарная) коррекция инструмента, мкм.

В процессе работы алгоритма по результатам следующих друг за другом измерений контролируемого размера вычисляются параметры a и b прямых и определяется абсцисса точки их пересечения, т.е. начальный прогноз коррекции. После измерения очередной детали расчет повторяется и прогноз коррекции уточняется. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие $k_{к.в} \leq k_x + 1$, что является сигналом для коррекции режущего инструмента.

После ввода коррекции описанные действия повторяются. Когда число измерений станет достаточным для вероятностной оценки погрешности обработки (размер выборки достигнет заданной величины n), начинается расчет текущего значения энтропийного коэффициента стабильности C_H . При этом значения погрешности контролируемого размера принимаются такими, какими они были бы без ввода коррекции. Расчет прогнозной оценки и коэффициента продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие $C_H \geq C_H^{\text{lim}}$, что свидетельствует о предельном износе режущего инструмента.

Анализ полученных экспериментальных данных, представленных в работе [5], показывает, что изменение коэффициента C_H адекватно отражает состояние режущего инструмента. С увеличением интенсивности изнашивания C_H возрастает. При этом уменьшается число деталей, для которых C_H имеет минимальное значение. Предельная интенсивность изнашивания инструмента обычно наступает при увеличении коэффициента C_H на 10...15 % сверх его минимального значения, которое соответствует периоду нормального (равномерного) износа.

Имитационная модель функционирования системы диагностирования и коррекции режущего инструмента (резцов) на токарных станках с ЧПУ реализована на языке С# в среде Visual Studio 2005. Программа построена по модульному принципу. Модули Properties (свойства), References (связи), Forms (формы) являются основными в структуре программы. Модуль Properties содержит файлы с информацией о свойствах и настройках для всей программы. В модуле References размещена информация о внешних подключаемых модулях. В данной программе это модуль ZedGraph (используется для построения графиков и гистограмм). Модуль Forms содержит файлы четырех форм программы:

- Form 1 – главная форма программы (рис. 5). В эту форму заносятся исходные данные для расчетов, строится график изменения энтропийного коэффициента C_H контролируемого размера при обработке партии заготовок);

- Form 2 – форма ввода отклонений контролируемого размера;

- Form 3 – форма с информацией о программе;

- Form 4 – форма для вывода гистограммы распределения отклонений контролируемого размера и графика коррекции режущего инструмента.

Каждой форме соответствует файл с именем формы и расширением cs (основным расширением файлов написанных на С#). В этих файлах программы присутствуют обработчики событий, таких как

нажатие кнопок, выбор пункта меню и т.д. Так как основной формой в данном проекте является Form 1, то и основной текст программы расположен в файле Form 1.cs.

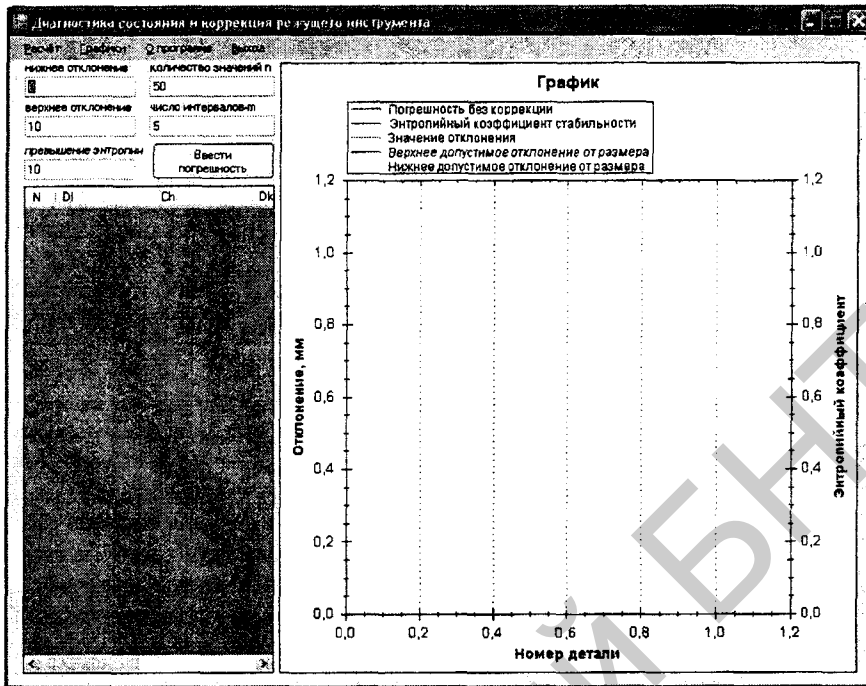


Рис. 5. Дизайн главной формы

База данных имитационной модели (рис. 6) содержит информацию о работоспособности режущего инструмента (таблица «Режущие пластины») при обработке определенной заготовки (таблица «Детали») в заданном диапазоне режимов резания (таблица «Параметры обработки»). Параметром работоспособности инструмента является энтропийный коэффициент стабильности размеров деталей в партии C_H . Он рассчитывается по представленному в работе алгоритму (см. рис. 1) и автоматически заносится в базу данных системы.

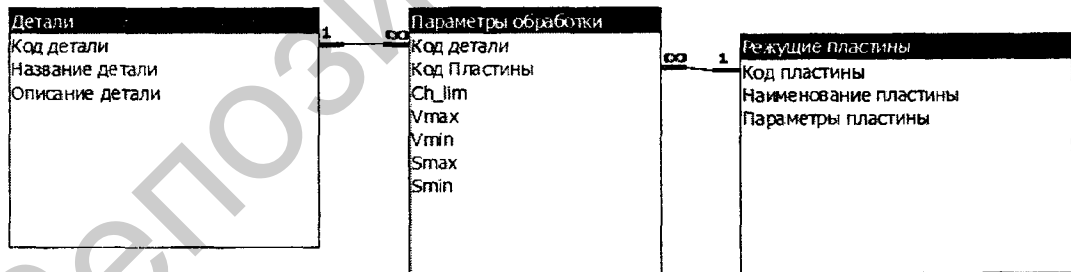


Рис. 6. Структура базы данных

Имитационная модель может работать в двух режимах – режиме обучения и режиме автоматической обработки. В режиме автоматической обработки каждое текущее значение энтропийного коэффициента стабильности C_H сравнивается с его предельным значением C_H^{lim} , которое берётся из таблицы «Параметры обработки» базы данных для заданных параметров производимой обработки: деталь, режущая пластина, максимальные и минимальные значения подачи и скорости резания. При достижении C_H его предельного значения C_H^{lim} выдается сообщение о необходимости замены режущего инструмента.

В режиме обучения исходное значение C_H^{lim} принимается на 10 % выше минимального значения C_H , которое соответствует периоду нормального (равномерного) износа режущего инструмента и заносится в базу данных. На последующих циклах оценки состояния режущего инструмента величина C_H^{lim} уточняется путем непосредственного контроля износа одним из известных методов. При кри-

тическом износе режущего инструмента с пульта оператора станка вводится команда, по которой исходное значение C_H^{lim} корректируется и заносится в базу данных системы. Если критический износ не наступил, то система работает в автоматическом режиме до тех пор, пока текущее значение C_H не достигнет значения C_H^{lim} , имеющегося в базе данных. После выравнивания значений C_H и C_H^{lim} системой формируется запрос оператору о состоянии инструмента. Пока износ инструмента не достиг критического, оператор вводит в систему команду на обработку следующей заготовки. Так продолжается до тех пор, пока не наступит критический износ инструмента.

Заключение. По изменению энтропийного коэффициента стабильности размеров заготовок, обработанных на станке, может быть дана объективная оценка текущего состояния режущего инструмента и его предельного износа. Метод может быть эффективно использован при обработке сравнительно больших партий заготовок в условиях нестационарного резания. Функция «расчёт энтропийного коэффициента стабильности» может выполняться непосредственно в устройстве ЧПУ. Разработанная имитационная модель позволяет наглядно представить процесс диагностирования и коррекции режущего инструмента на станках с ЧПУ токарной группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Палей, С.М. Состояние и тенденции развития способов прогнозирования периода стойкости лезвийного режущего инструмента / С.М. Палей. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 44 с.
2. Фельдштейн, Е.Э. Современные тенденции в контроле состояния режущих инструментов на автоматизированном оборудовании / Е.Э. Фельдштейн // Машиностроение: сб. науч. тр. Вып. 16. – Минск: УП «Технопринт», 2000. – С. 93 – 99.
3. Каштальян, И.А. Диагностика состояния режущего инструмента на токарных станках с ЧПУ при нестационарных режимах формообразования / И.А. Каштальян, П.К. Жуковский // Вестн. БНТУ. – 2003. – № 6. – С. 33 – 38.
4. Новицкий, П.В. Основы информационной теории измерительных устройств / П.В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
5. Каштальян, И.А. Система диагностики состояния и коррекции инструмента на токарных станках с ЧПУ / И.А. Каштальян // СТИН. – 2003. – № 4. – С. 10 – 14.
6. Кембровский, М.С. Приближенные вычисления, методы обработки результатов испытаний и оценки погрешностей в физике / М.С. Кембровский. – Минск: ООО «Оракул», 1997. – 221 с.

Поступила 11.02.2010

SIMULATION MODEL OF THE CUTTING TOOLS SYSTEM OF DIAGNOSTICS AND CORRECTION AT TURNING WORKSTATIONS WITH NUMERICAL CONTROL

I. KASHTALIAN, A. KOZOREZ, A. SHPAK

The author investigates the issue of wear process estimation and finding the degree of cutting tools at workstations with numerical control limiting wear. The author presents the mathematical model and the algorithm of the entropic coefficient of stability calculation there is a structural scheme of cutting tools state diagnostics, and the generic algorithm of its functioning. The author also presents a Data base containing the information about cutting tools performance.