



блок расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй блок сравнения, устройство индикации и блок ввода исходных данных, при этом связываемое со станком измерительное устройство выходом соединено с первым входом второго блока суммирования, второй вход которого соединен с выходом измерительного устройства с блоком сравнения, а выход - с первым входом блока расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй вход которого соединен с первым выходом блока ввода исходных данных, а выход - с первым входом второго блока сравнения, выход которого соединен с устройством индикации, блок определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности и блок формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, причем вход блока определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединен с выходом блока расчета энтропийного коэффициента стабильности, а выход - с первым входом блока формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, второй вход которого соединен со вторым выходом блока ввода исходных данных, а выход - со вторым входом второго блока сравнения, **отличающаяся** тем, что содержит последовательно соединенные второй блок скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы, блок определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, блок памяти с сохранением данных при выключении системы и блок формирования уточненного значения коррекции энтропийного коэффициента стабильности, причем вход второго блока скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы и второй вход блока определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединены со вторым выходом второго блока сравнения, выход блока формирования уточненного значения коррекции минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединен со вторым входом блока формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, а вход - со вторым выходом блока ввода исходных данных.

---

Изобретение относится к обработке металлов резанием, в частности к устройствам для числового программного управления металлорежущими, преимущественно токарными, станками.

Известна система для автоматического управления металлорежущим станком, преимущественно токарным [1], содержащая устройство для регулирования частоты вращения шпинделя, блок скользящего суммирования подналадочных импульсов, первый блок сравнения, устройство для согласования сигналов и систему пульсирующей автоподналадки пропорциональным импульсом, содержащую включенные последовательно измерительное устройство с блоком сравнения, усилитель, первый блок суммирования и исполнительное устройство, причем блок скользящего суммирования входом соединен с выходом усилителя, а выходом через первый блок сравнения и устройство для согласования сигналов соединен со входом устройства для регулирования частоты вращения шпинделя, а также измерительное устройство, связанное со станком, второй блок суммирования, блок расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй блок сравнения, устройство индикации и блок ввода исходных данных, при этом измерительное устройство, связанное со станком, выходом соединено с первым входом второго блока суммирования, второй вход которого соединен с выходом измерительного устройства с блоком сравнения, а выход с первым входом блока расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй вход которого соединен с первым выходом блока ввода исходных данных, а выход - с первым входом второго блока сравнения, второй вход которого соединен со вторым выходом блока ввода исходных данных, а выход - с устройством индикации.

Недостатком известной системы является отсутствие возможности оценки состояния предельного износа инструмента, когда поведение процесса резания неизвестно и заранее не установлено критическое значение энтропийного коэффициента стабильности.

Прототипом является система для автоматического управления металлорежущим станком, преимущественно токарным [2], содержащая устройство для регулирования частоты вращения шпинделя, блок скользящего суммирования подналадочных импульсов, первый блок сравнения, устройство для согласования сигналов и систему пульсирующей автоподналадки пропорциональным импульсом, содержащую включенные последовательно измерительное устройство с блоком сравнения, усилитель, первый блок суммирования и исполнительное устройство, причем блок скользящего суммирования входом соединен с выходом усилителя, а выходом через первый блок сравнения и устройство для согласования сигналов соединен со входом устройства для регулирования частоты вращения шпинделя, связываемое со станком измерительное устройство, второй блок суммирования, блок расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй блок сравнения, устройство индикации и блок ввода исходных данных, при этом связываемое со станком измерительное устройство выходом соединено с первым входом второго блока суммирования, второй вход которого соединен с выходом измерительного устройства с блоком сравнения, а выход с первым входом блока расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй вход которого соединен с первым выходом блока ввода исходных данных, а выход - с первым входом второго блока сравнения, выход которого соединен с устройством индикации, а также в блок определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности и блок формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, причем вход блока определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединен с выходом блока расчета энтропийного коэффициента стабильности, а выход - с первым входом блока формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, второй вход которого соединен со вторым выходом блока ввода исходных данных, а выход - со вторым входом второго блока сравнения.

Недостатком системы-прототипа является то, что прогнозная оценка состояния предельного износа режущего инструмента базируется на заранее полученной априорной информации, вследствие чего не всегда является достаточно точной.

Задачей, решаемой изобретением, является получение уточненной прогнозной оценки состояния режущего инструмента по изменению энтропийного коэффициента стабильности размеров деталей, обработанных с применением новых (неисследованных) процессов резания.

Поставленная задача достигается тем, что в систему для автоматического управления металлорежущим станком, преимущественно токарным, содержащую устройство для регулирования частоты вращения шпинделя, первый блок скользящего суммирования подналадочных импульсов, первый блок сравнения, устройство для согласования сигналов и систему пульсирующей автоподналадки пропорциональным импульсом, содержащую включенные последовательно измерительное устройство с блоком сравнения, усилитель, первый блок суммирования и исполнительное устройство, причем блок скользящего суммирования входом соединен с выходом усилителя, а выходом через первый блок сравнения и устройство для согласования сигналов соединен со входом устройства для регулирования частоты вращения шпинделя, а также связываемое со станком измерительное устройство, второй блок суммирования, блок расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй блок сравнения, устройство индикации и блок ввода исходных данных, при этом связываемое со станком измерительное устройство выходом соединено с первым входом второго блока суммирования, второй вход которого соединен с выходом измерительного устройства с блоком сравнения, а выход с первым входом блока расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй вход которого соединен с первым вы-

ходом блока ввода исходных данных, а выход - с первым входом второго блока сравнения, выход которого соединен с устройством индикации, блок определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности и блок формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, причем вход блока определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединен с выходом блока расчета энтропийного коэффициента стабильности, а выход - с первым входом блока формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, второй вход которого соединен со вторым выходом блока ввода исходных данных, а выход - со вторым входом второго блока сравнения, введены последовательно соединенные второй блок скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы, блок определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, блок памяти с сохранением данных при выключении системы и блок формирования уточненного значения коррекции энтропийного коэффициента стабильности, причем вход второго блока скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы и второй вход блока определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединены со вторым выходом второго блока сравнения, выход блока формирования уточненного значения коррекции минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединен со вторым входом блока формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, а вход - со вторым выходом блока ввода исходных данных.

На фигуре представлена блок-схема предлагаемой системы.

Система состоит из металлорежущего станка 1, имеющего органы настройки, устройства 2 регулирования частоты вращения шпинделя, исполнительного устройства 3, измерительного устройства 4 с блоком сравнения, усилителя 5, блока 6 суммирования, блока 7 скользящего суммирования, блока 8 сравнения, устройства 9 согласования сигналов, измерительного устройства 10, второго блока 11 суммирования, блока 12 расчета энтропийного коэффициента стабильности, второго блока 13 сравнения, устройства 14 индикации, блока 15 ввода исходных данных, блока 16 определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, блока 17 формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, второго блока 18 скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы, блока 19 определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, блока 20 памяти с сохранением данных при выключении системы, блока 21 формирования уточненного значения коррекции минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, при этом измерительное устройство 4 с блоком сравнения, усилитель 5, блок 6 суммирования и исполнительное устройство 3 включены последовательно и образуют систему пульсирующей автоподналадки пропорциональным импульсом, вход блока 7 скользящего суммирования соединен с выходом усилителя 5, а выход его через блок 8 сравнения и устройство 9 для согласования сигналов связан с входом устройства 2 для регулирования частоты вращения шпинделя, измерительное устройство 10, второй блок 11 суммирования, блок 12 расчета энтропийного коэффициента стабильности, второй блок 13 сравнения и устройство 14 индикации также включены последовательно, первый и второй выходы блока 15 ввода исходных данных соединены соответственно со вторым входом блока 12 расчета энтропийного коэффициента стабильности и вторым входом блока 17 формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, второй вход второго блока 11 суммирования соединен с выходом измерительного устройства 4 с блоком сравнения, вход блока 16 определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединен с выходом блока 12 расчета энтропийного коэффициента стабильности, а его выход соединен с первым входом блока 17 формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, второй блок 18 скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы,

## ВУ 18359 С1 2014.06.30

блок 19 определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, блок 20 памяти с сохранением данных при выключении системы и блок 21 формирования уточненного значения коррекции энтропийного коэффициента стабильности, также соединенные последовательно, причем вход второго блока 18 скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы и второй вход блока 19 определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединены со вторым выходом второго блока 13 сравнения, выход блока 21 формирования уточненного значения коррекции минимального значения энтропийного коэффициента стабильности соединен со вторым входом блока 17 формирования критического значения энтропийного коэффициента стабильности, а вход - со вторым выходом блока 15 ввода исходных данных.

Исполнительное устройство 3 предназначено для регулирования положения инструмента относительно технологических баз станка; измерительное устройство 4 с блоком сравнения служит для измерения детали и определения отклонения размера детали от заданного значения; усилитель 5 предназначен для усиления сигнала, выработанного измерительным устройством 4; блок 6 суммирования предназначен для суммирования подналадочного импульса для очередного цикла обработки с ранее накопленными подналадочными воздействиями; блок 7 скользящего суммирования служит для определения средней величины подналадочных импульсов за несколько циклов, предшествующих управляемому, которая характеризует интенсивность износа инструмента; блок 8 сравнения служит для сравнения величины интенсивности износа, полученной в блоке 7, с оптимальной интенсивностью, которая может быть определена по известным зависимостям, и формирует сигнал, пропорциональный рассогласованию; устройство 9 согласования сигналов служит для преобразования сигнала, поступающего из блока 8, в сигнал, обеспечивающий требуемое изменение частоты вращения шпинделя; измерительное устройство 10 предназначено для определения результирующего смещения исполнительного органа станка, несущего режущий инструмент, относительно технологических баз станка после каждого цикла поднастройки; второй блок 11 суммирования предназначен для суммирования результирующего смещения исполнительного органа станка, несущего режущий инструмент, относительно технологических баз станка после очередного цикла поднастройки, поступающего из блока 10, и отклонения размера детали от заданного значения, определенного для последующего цикла обработки, поступающего из блока 4; блок 12 расчета энтропийного коэффициента стабильности предназначен для определения текущего значения энтропийного коэффициента стабильности по скользящей выборке, содержащей некоторое конечное число конкретных значений случайной величины; второй блок 13 сравнения предназначен для сравнения текущего значения энтропийного коэффициента стабильности, определенного в блоке 12, со значением, характеризующим наступление катастрофического износа инструмента, поступающим из блока 17 формирования предельного значения энтропийного коэффициента стабильности; блок 14 индикации предназначен для выдачи сообщения о достижении текущего значения энтропийного коэффициента стабильности сформированного в блоке 17, соответствующего наступлению катастрофического износа режущего инструмента; блок 15 ввода исходных данных предназначен для задания параметров, необходимых для расчета энтропийного коэффициента стабильности, а также для формирования его предельного значения; блок 16 определения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности предназначен для определения текущего минимального значения энтропийного коэффициента стабильности по скользящей выборке, содержащей некоторое конечное значение конкретных значений случайной величины; блок 17 формирования предельного значения энтропийного коэффициента стабильности предназначен для формирования значения энтропийного коэффициента стабильности, характеризующего наступление катастрофического износа инструмента путем коррекции минимального значения энтропийного коэффициента

стабильности, определенного в блоке 16, на величину, поступающую из блока 15 ввода исходных данных; второй блок 18 скользящего суммирования с сохранением данных при выключении системы предназначен для определения скользящей средней величины критического значения энтропийного коэффициента стабильности, определяемой каждый раз после очередного достижения инструментом катастрофического износа (текущее значение энтропийного коэффициента стабильности, определенное в блоке 12, становится равным его критическому значению, определенному в блоке 17); блок 19 определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности предназначен для вычисления соотношения между критическим значением энтропийного коэффициента стабильности, полученном на выходе второго блока 13 сравнения и, его накопленным средним значением, полученным на выходе второго блока 18 скользящего суммирования; блок 20 памяти с сохранением данных при выключении предназначен для запоминания и хранения текущего значения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, определяемой в 9; блок 21 формирования уточненного значения коррекции минимального значения энтропийного коэффициента стабильности предназначен для изменения коррекции минимального значения энтропийного коэффициента стабильности, поступающей из блока 15 ввода исходных данных, на величину, поступающую из блока 20 памяти, с сохранением данных при выключении.

Система работает следующим образом.

Перед началом очередного  $K$ -го цикла обработки деталь, обработанная в предыдущем  $K-1$ -м цикле, измеряется в устройстве 4 и отклонение размера ( $Y_{K-1}$ ) от заданного значения ( $Y_0$ )  $\Delta Y_{K-1} = Y_0 - Y_{K-1}$  преобразуется усилителем 5 в величину подналадочного воздействия для  $K$ -го цикла обработки  $U_K = b\Delta Y_{K-1}$ , где  $b$  - коэффициент подналадки. Величина  $U_K$  суммируется в блоке 6 с ранее накопленными подналадочными воздействиями, и суммарная величина  $Y_K = \sum_{i=1}^K U_i$  реализуется исполнительным устройством 3 в виде соответствующего положения инструмента относительно технологических баз станка 1 (размерной настройки).

Одновременно сигнал  $U_K$  поступает на вход блока 7.

Величину  $U_K$  можно рассматривать как оценку износа инструмента за один цикл обработки, т.е. оценку интенсивности износа. Однако из-за случайного характера процесса, колебания этой оценки от цикла к циклу могут быть весьма велики. Более устойчивой оценкой интенсивности износа является средняя величина  $I'_K$  за несколько циклов  $m'$ , предшествующих управляемому

$$I'_K = \frac{1}{m'} \sum_{i=k-m'-1}^k U_K.$$

Величина  $m'$ , обеспечивающая требуемую надежность оценки, выбирается в зависимости от свойств процесса.

Найденная таким образом интенсивность размерного износа  $I'_K$  сравнивается в блоке 8 с заданной оптимальной интенсивностью  $I'_0$ , которая может быть определена по известным зависимостям.

Для упрощения структуры блока 7 можно заменить вычисление скользящей средней скользящим суммированием

$$I_K = m' I'_K \sum_{i=k-m'-1}^k U_K,$$

при этом и на второй вход блока 8 придется подать пропорционально увеличенный опорный сигнал  $I_0 = m'I'_0$ . С выхода блока 8 снимается сигнал, пропорциональный отклонению фактической интенсивности размерного износа от заданного оптимального уровня

$$\Delta I_K = I_0 - I_K.$$

Этот сигнал поступает на вход устройства 9. Способ функционирования устройства 9 зависит от структуры устройства 2. Например, если устройство 2 представляет собой регулируемый электропривод, блок 9 осуществляет усиление сигнала.

Устройство 9 совместно с устройством 2 изменяют частоту вращения шпинделя так, чтобы компенсировать отклонение фактической интенсивности размерного износа от заданной.

Кроме того, после каждого цикла поднастройки измерительным устройством 10 определяется величина результирующего смещения исполнительного органа станка, несущего режущий инструмент, относительно технологических баз станка и поступает на вход второго блока 11 суммирования. На второй вход блока 11 из измерительного блока 4 поступает величина отклонения размера детали ( $Y_{K-1}$ ) от заданного значения  $Y_0$ . При этом суммарная величина в блоке 11 соответствует размерному износу режущего инструмента и является текущей величиной для расчета энтропийного коэффициента стабильности размеров деталей, если бы они были получены без поднастроек. Полученная в блоке 11 суммарная величина поступает в блок 12, где совместно с данными, поступающими из блока 15, используется для расчета энтропийного коэффициента стабильности. В качестве таких данных используются параметры, характеризующие ступенчатую гистограмму практического распределения случайной величины, поступающей на вход блока 12 с выхода блока 11:  $n$  - число значений случайной величины для расчета энтропийного коэффициента стабильности  $S_H$  (размер выборки);  $d$  - ширина интервала.

Если случайную величину, получаемую на выходе второго блока суммирования 11, обозначить через  $\Delta$ , то энтропийный коэффициент стабильности  $S_H$  определяется как отношение энтропии  $H(\Delta)$ , полученной в результате  $n$  измерений, к максимально возможной энтропии  $[H(\Delta)]_{\max}$  [3].

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

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

где  $p_i$  - вероятность.

Когда состояния системы равновероятны, энтропия максимальна

$$[H(\Delta)]_{\max} = \ln n.$$

На основании ограниченного числа измерений в блоке 12 моделируется ступенчатая гистограмма, которая в той или иной степени приближается к действительному закону распределения  $p(\Delta)$ . Такая гистограмма будет состоять из  $m$  столбцов с границами  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_m$ . Каждый столбец шириной  $d = x_i - x_{i-1}$  включает в себя  $n_i$  размеров, а число столбцов  $m = (x_m - x_0)/d$ . При этом плотность вероятности на протяжении каждого из столбцов остается постоянной и равной  $p(\Delta) = n_i/nd_i$ . Тогда энтропия такого распределения

$$H(\Delta) = - \int_{-\infty}^{+\infty} P(\Delta) \ln p(\Delta) dx = - \sum_{i=1}^m \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{n_i}{nd_i} \ln \frac{n_i}{nd_i} dx.$$

После преобразований

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

Если принять, что ширина всех столбцов гистограммы одинакова, то

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

В результате энтропийный коэффициент стабильности определяется по следующей зависимости

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

Первый цикл вычисления коэффициента  $C_H$  будет выполнен, когда число измеренных деталей достигнет значения  $n$ , поступающего в блок 12 из блока 15 ввода. Последующие циклы вычисления  $C_H$  будут производиться после каждого очередного поступления в блок 12 суммарной величины, полученной в блоке 11. При этом новая выборка из  $n$  элементов каждый раз будет сдвигаться на один элемент.

Полученные значения коэффициента  $C_H$  адекватно отражают динамику износа режущего инструмента. В период нормального износа текущие значения коэффициента  $C_H$  минимальны и изменяются незначительно, наступление катастрофического износа характеризуется резким его возрастанием.

Значение коэффициента  $C_H$ , определенное в блоке 12, сравнивается в блоке 13 с заданным значением  $C'_H$ , которое поступает из блока 17 и соответствует наступлению катастрофического износа режущего инструмента. Для процессов нестационарного резания, которые изучены недостаточно, значение  $C'_H$ , как правило, не определено. Поэтому его формирование в блоке 17 осуществляется путем коррекции в сторону увеличения минимального значения энтропийного коэффициента стабильности  $C_H^{\min}$ , определенного в блоке 16 по скользящей выборке, содержащей некоторое конечное число  $n$  значений случайной величины (величины, получаемой на выходе второго блока 11 суммирования). Величина  $C_H^{\min}$  при этом используется как параметр, характеризующий процесс изнашивания режущего инструмента.

Если текущее значение  $C_H$  становится равным или больше значения  $C'_H$ , то на блок 14 индикации поступает сообщение о необходимости смены инструмента, а на вход второго блока 18 скользящего суммирования и на второй вход блока 19 определения поправки на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности поступает величина  $C'_H$ . Величина  $C'_H$  используется как оценка критического состояния режущего инструмента (критического износа). Однако из-за множества факторов, оказывающих влияние на процесс изнашивания режущего инструмента в процессе резания, колебания этой оценки могут быть существенными. Более устойчивой оценкой критического износа режущего инструмента является величина  $C_H^{cp}$ , получаемая путем накопительного суммирования с вычислением среднего значения:

$$C_H^{cp} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l C'_{H_i},$$

где  $l$  - значение числа зафиксированных критических состояний режущего инструмента (число совпадений  $C_H$  с  $C'_H$  в блоке 13).

Далее величина  $C_H^{cp}$ , вычисленная во втором блоке 18 скользящего суммирования, поступает на вход блока 19. В этом блоке определяется поправка на коррекцию минимального значения энтропийного коэффициента стабильности  $K_{C_H}^n$  по следующей зависимости:  $K_{C_H}^n = C'_H / C_H^{cp}$ . Полученное текущее значение  $K_{C_H}^n$  поступает на вход блока 20 памяти, а с его выхода - на вход блока 21, на второй вход которого из блока 15 посту-



# ВУ 18359 С1 2014.06.30

пает коррекция  $K_{C_n}$ . В блоке 21 значение  $K_{C_n}$  изменяется (путем умножения) в соответствии с значением  $K_{C_n}^n$ . В результате из блока 21 на второй вход блока 17 поступает уточненное значение коррекции  $K_{C_n}'$ . Процесс уточнения коррекции повторяется до сброса содержимого памяти в блоках 20 и 18 (сброс памяти следует производить при переходе на обработку партии заготовок, имеющих существенные различия в механических свойствах от заготовок в предыдущей партии).

Источники информации:

1. Патент ВУ 6159 С1, МПК В 23Q 15/00, 2004.
2. Патент ВУ 12947 С1, МПК В 23Q 15/00, 2010 (прототип).
3. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. - Л.: Энергия, 1968. - 248 с.