

Прогнозирование стойкости инструмента при чистовой обработке

Forecasting of firmness of the tool at fair processing

Излагается способ сохранения заданной размерной точности или шероховатости обработки, на основе диагностирования износа инструмента и прогнозирования технологической стойкости. Создан алгоритм контроля инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости. Разработана архитектура подсистемы прогнозирования остаточной стойкости инструмента.

The way of preservation of the set dimensional accuracy or processing roughness, on the basis of diagnosing of deterioration of the tool and forecasting of technological firmness is stated. The algorithm of the control of the tool and forecasting of its residual firmness is created. The architecture of a subsystem of forecasting of residual firmness of the tool is developed.

Ключевые слова: Прогнозирование, чистовая обработка, точность, алгоритм контроля инструмента, остаточной стойкости, износ.

Keywords: Forecasting, fair processing, accuracy, algorithm of the control of the tool, residual firmness, deterioration.

При чистовой обработке на металлорежущих станках, главным показателем эффективности технологического процесса является параметр качества обработанных деталей. В конкуренции за рынки сбыта, успешны те производители, которые выпускают изделия лучшего качества.

Разработано и находят применение ряд способов управления качеством обрабатываемых деталей:

- По результатам измерения детали на станке производится коррекция положения режущего инструмента - активный контроль.
- По результатам измерения деформаций деталей станка (например, тепловых) производится коррекция параметров, вызывающих эти деформации.
- Обеспечивается необходимая точность за счет постоянства условий и параметров работы деталей и узлов станка, от которых зависит траектория движения размерного формообразования и др.

В статье излагается способ сохранения заданной размерной точности или шероховатости обработки, на основе диагностирования износа инструмента и прогнозирования его технологической стойкости.

При чистовой обработке партии деталей алгоритм диагностирования (контроля) износа по уставкам [1] может работать только после выявления того, что остаточной стойкости - $T_{ост}$ инструмента хватит для обработки очередной детали с заданной размерной точностью и шероховатостью. В противном случае потребуются замена инструмента до окончания обработки поверхности детали, что приведет к браку из-за оставленного на ее поверхности следа от врезания нового инструмента. Следовательно, при чистовой обработке, эксплуатационный период алгоритма диагностирования, помимо контроля износа, должен включать действия прогнозирования изменений в состоянии инструмента во время обработки следующей детали. Инструмент должен сохранять работоспособное состояние в течение времени $T_{маш}$ обработки поверхности этой детали. Остаточная стойкость инструмента должна быть не менее $T_{маш}$.

Методика прогнозирования остаточной стойкости $T_{ост}$ основана на зависимости $h_3=f(t)$, в которой при рациональных условиях работы каждого инструмента выявляется три стадии:

приработки, установившегося износа, катастрофического износа. При установившемся износе экспериментальные точки располагаются случайно около прямой и могут быть аппроксимированы линейной функцией (Рис.1)

$$h_z = KT + h_{z_{пр}}, \quad (1)$$

где $h_{z_{пр}}$ - износ приработки.

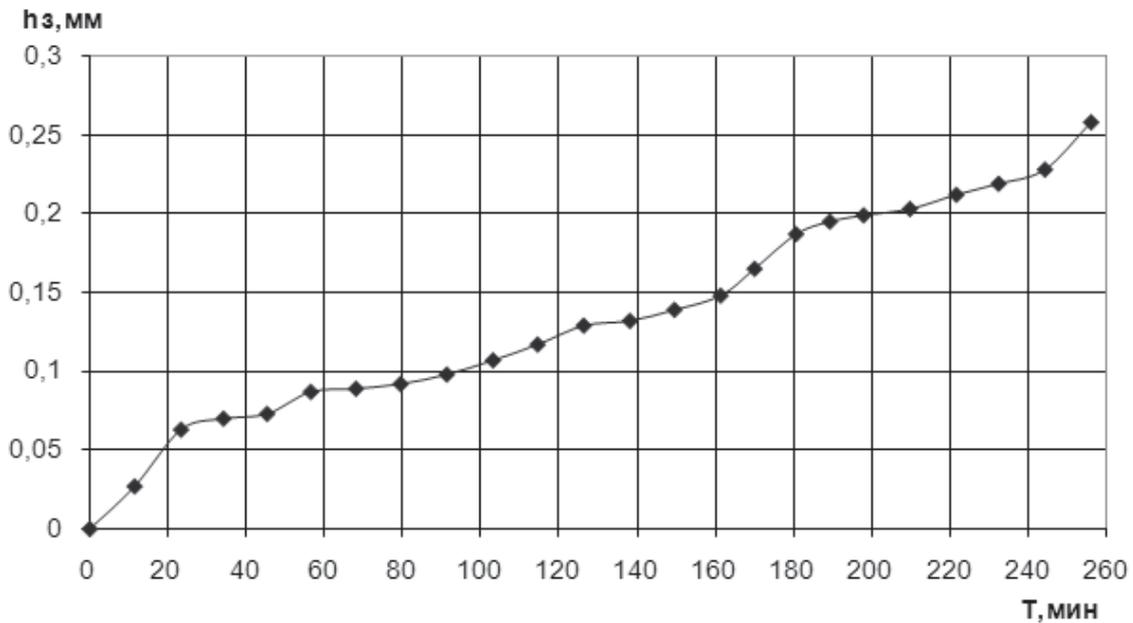


Рис. 1 Зависимость износа h_z - время T , обрабатываемый материал сталь 45, резец Искар SCLCR 2020K-12; CCMT 432-SM IC907, $V=240$ мм/об, $S=0,1$ мм/об, $t=1$ мм.

Случайный характер износа инструмента проявляется не только в разбросе опытных точек около линии, описываемой уравнением (1). В самом уравнении коэффициент K приобретает случайные значения для каждого из инструментов партии, работающих при одинаковых назначенных условиях работы (Рис.2). Тогда функцию(1) следует рассматривать как случайную[1], а каждая ее реализация относится к конкретному работающему инструменту партии. Для прогнозирования его остаточной стойкости $T_{ост}$, после обработки ряда деталей, нужно знать по какой из реализаций развивается износ (Рис.2), т.е. каково значение K .

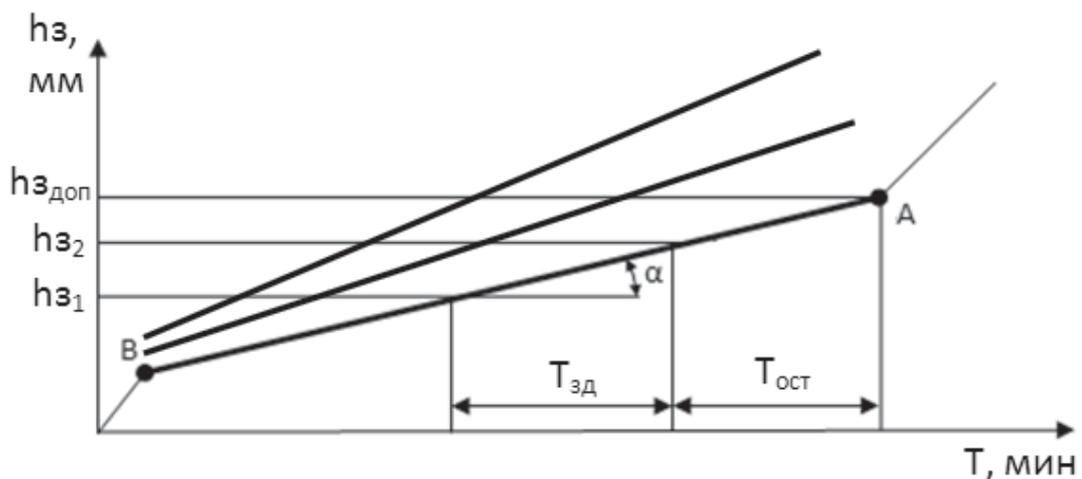


Рис. 2 Графическое определение остаточной стойкости $T_{ост}$

Для определения значения K система диагностирования износа инструмента выполняет следующие операции. В момент времени T_1 работы инструмента определяет величину износа $h_{z1}[1]$, а после задержки опроса $T_{зд}=T_2-T_1$ определяет износ h_{z2} (Рис.2). Тогда

$$K = \operatorname{tg}\alpha = \frac{h_{z2} - h_{z1}}{T_{зд}}, \quad (2)$$

$$\text{а остаточная стойкость } T_{ост} = \frac{[h_3] - h_{z2}}{K}, \quad (3)$$

Где - h_3 допускаемый износ инструмента, выявленный в предэксплуатационный период диагностирования [2] исходя из требований обеспечения параметра качества детали при назначенных условиях ее обработки.

При этом нужно учитывать, что параметры качества помимо износа инструмента зависят от других повреждений в технологической системе, поэтому $[h_3]$ может быть различным, в зависимости от того, какова доля их влияния на качество обработки.

Одноразовое определение K позволило бы рассчитать $T_{ост}$ до отказа инструмента лишь в том случае, если точки измеренных износов h_{z1} и h_{z2} располагались на прямой AB (рис.2). В действительности, измеренные в реальных условиях работы данного инструмента, они относятся к неизвестной кривой, которая, как показано на Рис.3, колеблется при установившемся износе около прямой $h=KT$. При расчете K_i на каждом временном отрезке $T_{зд}$ производятся действия линейной интерполяции. $K_i = \operatorname{tg}\alpha_i$ на каждом отрезке $T_{зд}$ будут иметь различные случайные значения, а $K_{ср} = \frac{\sum K_i}{i}$ будет с ростом i приближаться к средней скорости нарастания износа работающего инструмента, которая определяется угловым коэффициентом K прямой $h=KT$.

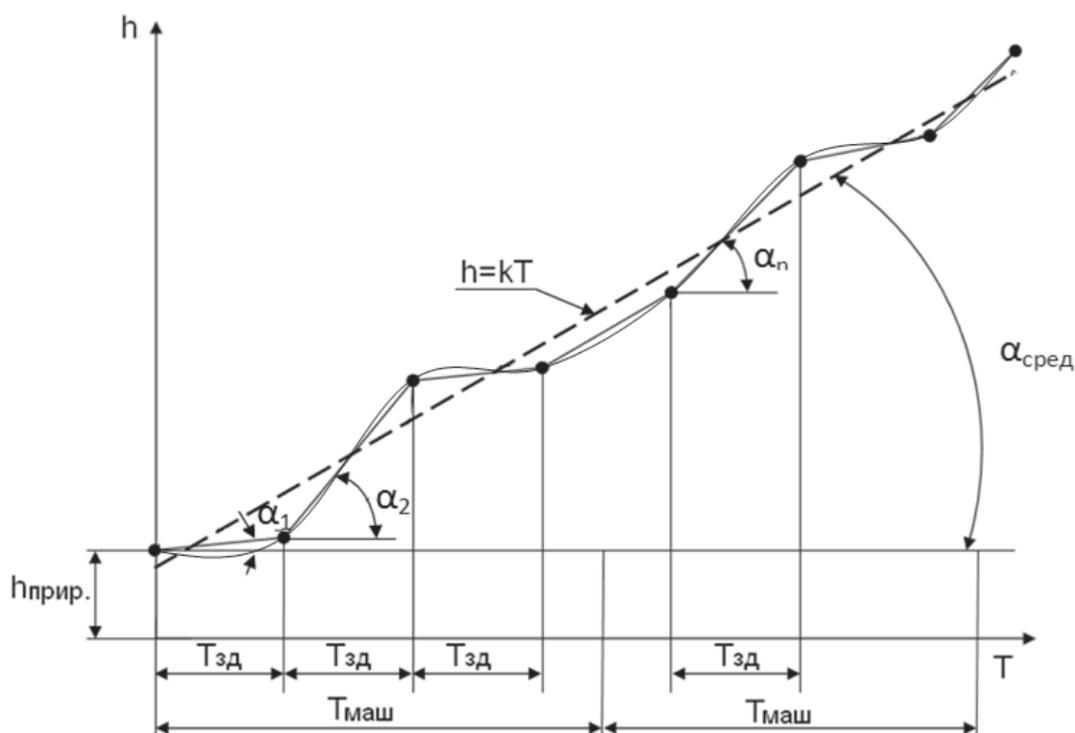


Рис.3 Зависимость износ-время в стадии установившегося износа.

Следовательно, алгоритм прогнозирования $T_{ост}$ должен обеспечить действия по определению K_i и расчету $K_{ср}$ в течении всего периода стойкости инструмента. Тогда по мере приближения износа к $[h_3]$ достоверность прогноза $T_{ост}$ будет повышаться.

В соответствии с описанной методикой, был разработан алгоритм прогнозирования остаточной стойкости. В упрощенном виде, данный алгоритм контроля инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости, можно представить так, как показано на Рис.4.

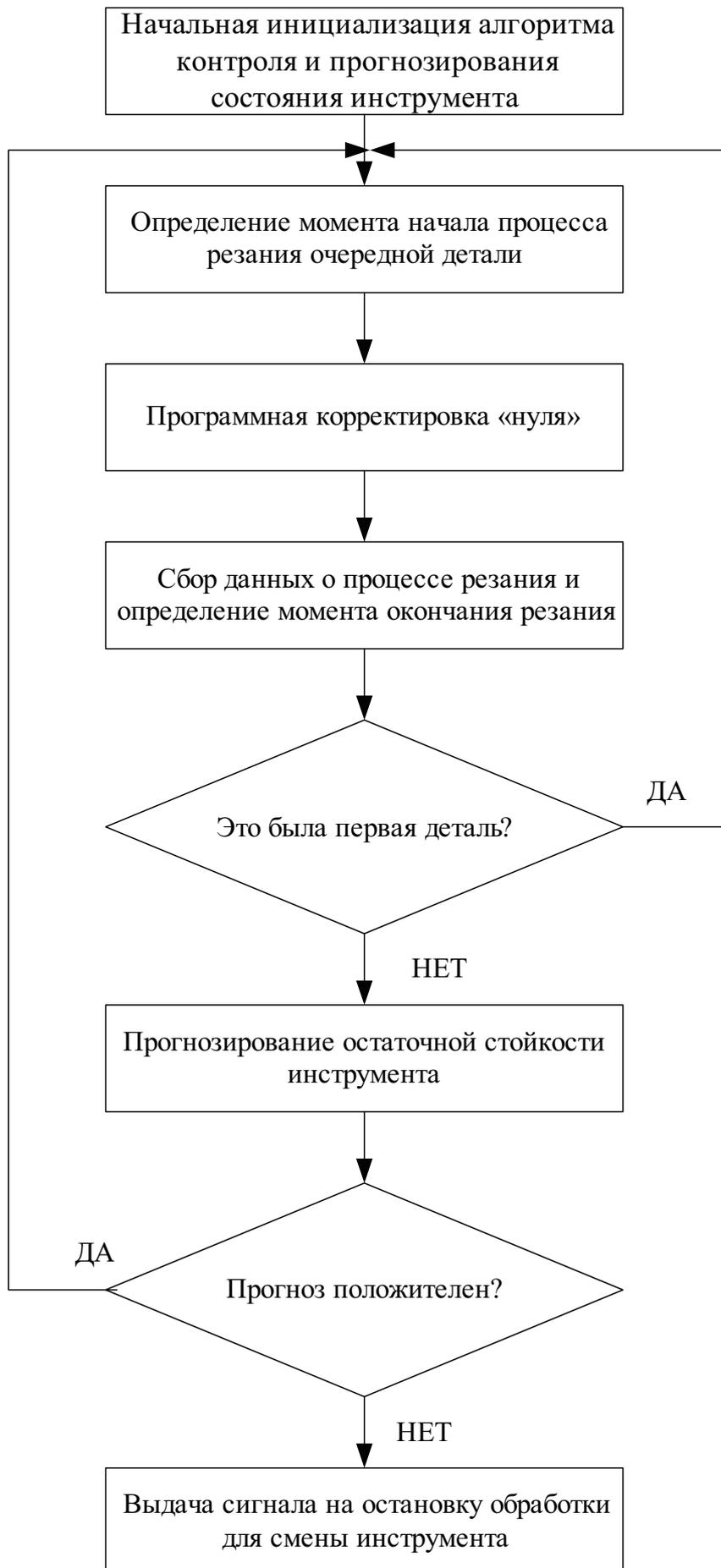


Рис. 4 Алгоритм контроля инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости

Рассмотрим подробнее основные элементы алгоритма и их назначение.

Начальная инициализация алгоритма контроля инструмента подразумевает подготовительные операции по подключению к датчикам, а также получению данных от пользователя. В работе использовались тензометрические датчики измерения составляющих силы резания как диагностических признаков износа. К таким данным относятся:

$[h_3]$ - максимальный допустимый износ инструмента;

ТЗД - задержка опроса датчиков, определяющая частоту получения информации;

S - количество импульсов сигналов от датчиков силы в группе;

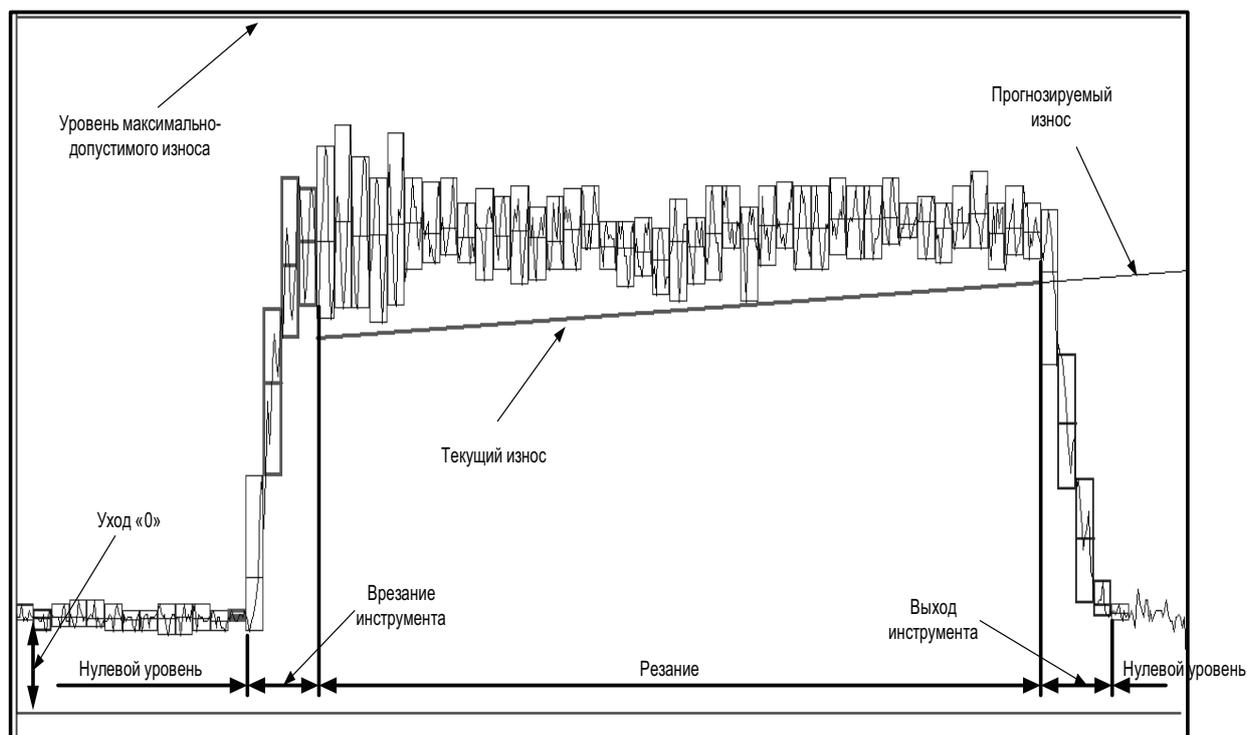


Рис.5 Виды сигналов датчика силы резания при обработке детали.

Далее запускается цикл снятия информации с датчиков системы контроля инструмента с заданным ТЗД. Однако в процессе получения данных можно выделить несколько зон: холостого хода (смена заготовки, подвод инструмента), врезания, резания и выхода инструмента (Рис.5). Для решения задачи контроля износа инструмента нам нужна только зона непосредственно резания. Учет данных из остальных зон не только не нужен, но и может привести к значительной ошибке в прогнозировании остаточной стойкости инструмента. С целью исключить данные из ненужных зон обработки, вводятся алгоритмы определения момента начала процесса резания очередной детали и определения момента окончания резания очередной детали. Реализация данных алгоритмов практически идентична. Весь поток получаемых данных разбивается на группы из S последовательных импульсов сигнала (S задается на этапе начальной инициализации алгоритма контроля инструмента). Для каждой группы рассчитываются максимальное, минимальное и среднее значения. Далее сравниваются параметры последовательных групп и, в зависимости от их взаимного расположения вырабатывается сигнал на начало или окончание резания (Рис.6).

Таким образом, в случае, если получен сигнал начала процесса врезания, а затем, после нескольких сигналов врезания, состояние стало неизменным, фиксируется момент установившегося процесса резания и начинается сбор данных для прогнозирования.

Аналогично, в случае получения набора сигналов выхода инструмента, а затем их исчезновения, можно делать вывод о прекращении процесса обработки.

Однако получение сигнала может быть вызвано случайным выбросом данных, получаемых с датчика, а не реальным изменением состояния.

С целью исключения подобных ситуаций, введен дополнительный уровень контроля сигналов. Последовательно рассматриваются 3 - 5 групп данных и, если сигнал в этих группах не повторяется (Рис.7), он считается ложным и игнорируется.

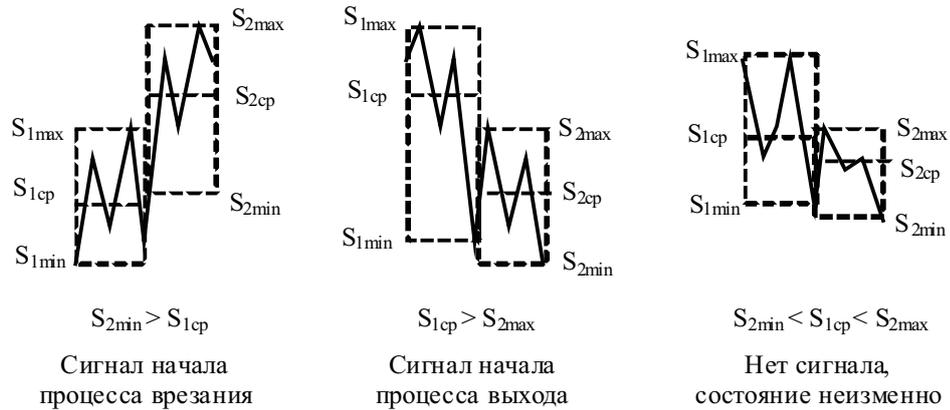


Рис. 6 Сигналы на изменение состояния процесса резания в зависимости от расположения групп данных

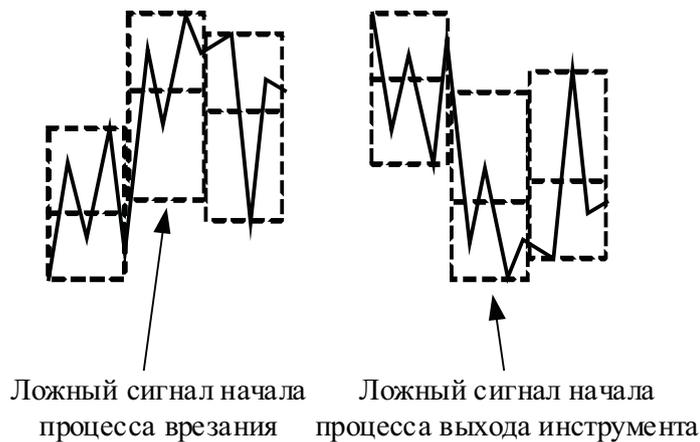


Рис. 7 Ложные сигналы смены состояния обработки

Все данные, получаемые в процессе холостого хода на прогноз влияние не оказывают, но, тем не менее, собираются и анализируются алгоритмом программной корректировки «нуля». Этот алгоритм вводится по той причине, что нулевой уровень сигнала может колебаться и для правильного анализа получаемых в процессе обработки значений это нужно учитывать.

С этой целью рассчитывается среднее значение по всем данным, получаемым в процессе холостого хода до момента врезания и полученная величина вычитается или прибавляется к значениям, получаемым в процессе резания.

Следует также учитывать, что данные, полученные в процессе обработки первой детали, необходимо исключить из работы алгоритма прогнозирования в связи с тем, что инструмент проходит приработку и прогноз по первой детали может оказаться неверен.

Данные износа инструмента, полученные в процессе обработки второй и последующих деталей, используются в алгоритме прогнозирования остаточной стойкости инструмента (Рис.8).

Входными параметрами данного алгоритма являются данные износа инструмента, собранные в процессе обработки предыдущей детали и время обработки этой детали ТМАШ (засекается алгоритмом сбора данных в процессе обработки).

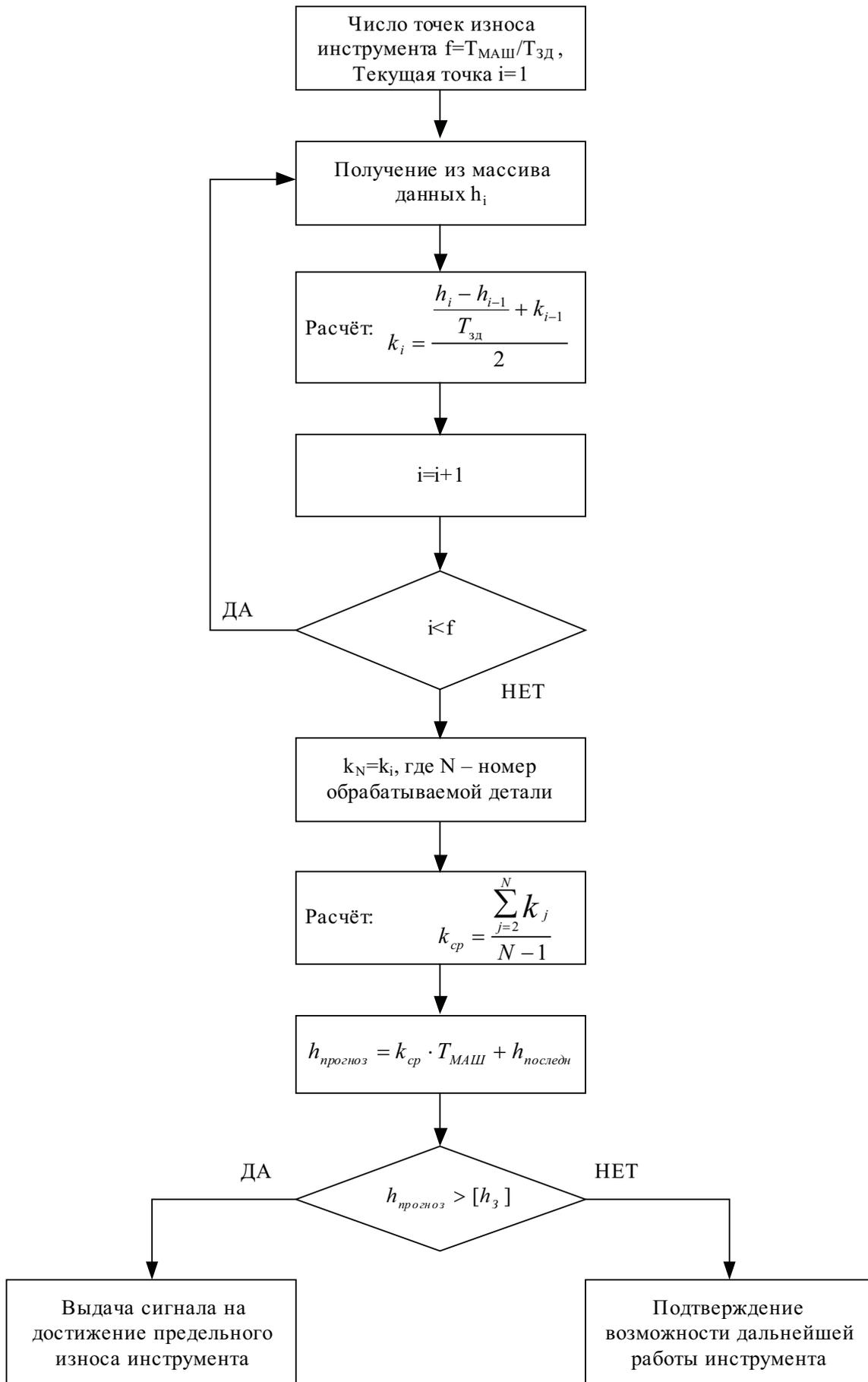


Рис. 8 Алгоритм прогнозирования остаточной стойкости инструмента

Данный алгоритм рассчитывает коэффициент наклона K прямой по данным износа инструмента, полученным от обработки последней детали, находит среднее значение коэффициента наклона с учетом коэффициентов, полученных от обработки предыдущих деталей и продолжает прямую износа с коэффициентом наклона $k_{ср}$ на расстояние, соответствующее ТМАШ (Рис.9)

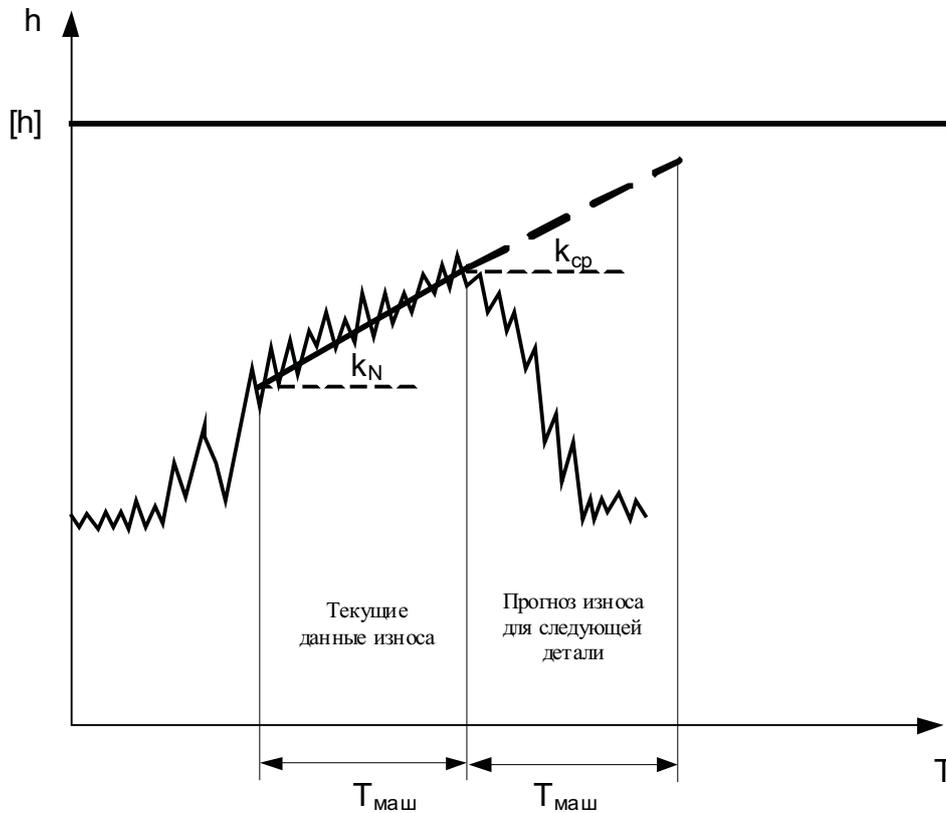


Рис. 9 Пример построения прогноза

В случае, если отрезок полученной прямой прогноза для ТМАШ пересекает максимально допустимый уровень $[h3]$, выдается сигнал на прекращение процесса обработки.

Общая архитектура системы прогнозирования остаточной стойкости инструмента представлена на Рис.10.

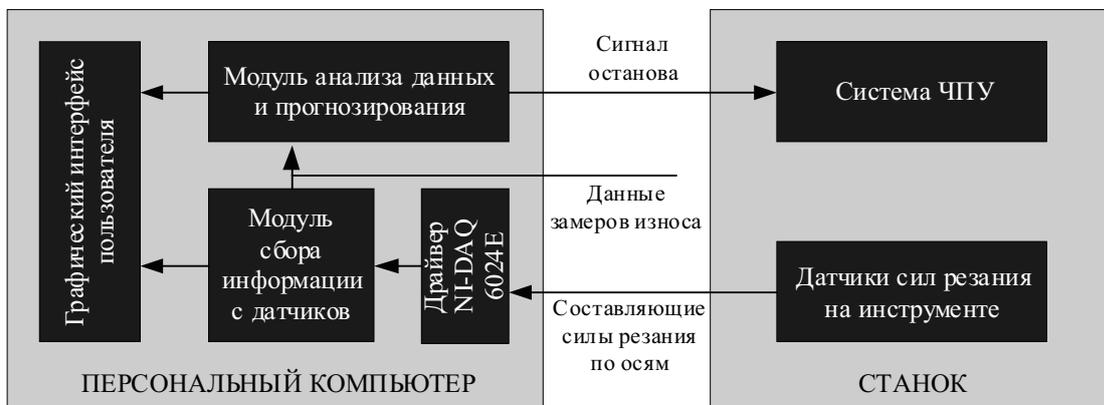


Рис. 10 Архитектура подсистемы прогнозирования остаточной стойкости инструмента

Система прогнозирования реализована в виде:

- программных модулей открытой системы ЧПУ [3], работающих на персональном ком-

пьютере под управлением ОС Windows XP и может быть встроена в систему ЧПУ класса PCNC;

- аппаратного модуля сопряжения с датчиками (платой ввода-вывода сигнала);
- датчиков (силы, вибрации, акустической эмиссии и т.д.).

Данные износа инструмента поступают с датчиков, расположенных на инструменте, в модуль сбора информации с датчиков. Из модуля сбора информации данные поступают в модуль анализа данных и отображаются графически в пользовательском интерфейсе программы. В свою очередь, модуль анализа данных отображает информацию о прогнозе в пользовательском интерфейсе и, в случае отрицательного прогноза, выдает сигнал на систему ЧПУ.

В качестве средства разработки программных модулей используется среда разработки Microsoft Visual Studio 6.0 SP 6, библиотека MFC [4] и API функции, поставляемые с платой National Instruments DAQ 6024E.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная архитектура подсистемы прогнозирования остаточной стойкости инструмента, разработанная на основе алгоритмов контроля инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости, позволяют сохранить заданную размерную точность или шероховатость обработки. Данная подсистема позволяет существенно снизить процент брака, полученного при смене инструмента, вышедшего из строя, до окончания обработки поверхности детали.

Библиографический список

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем: Учебник. - М.: Высшая школа, 2005. - 343с.: ил.
2. Синопальников В.А. Контроль и прогнозирование состояния инструмента при чистой обработке. // Комплект: ИТО №9/2007 с. 60-63.
3. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. - М.: Логос, 2005. - 296с.
4. Фролов А.В., Фролов Г.В. Microsoft Visual C++ и MFC. Программирование для Windows 95 и Windows NT. Том 24 М.: Диалог-МИФИ, 1996 288 стр.

References

1. V A Sinopalnikov, S N Grigoriev Reliability and diagnostics of technological systems: Textbook-Moscow.: Vishaia shkola, 2005.-343 pages.
2. V A Sinopalnikov The control and forecasting of a condition of the tool at fair processing. // Komplekt: ITO №9/2007 pages. 60-63.
3. V L Sosonkin, G M Martinov Systems of numerical programmed control: Manual - Moscow.: Logos, 2005. - 296page.
4. A V Frolov, G V Frolov Microsoft Visual C++ and MFC. Programming for Windows 95 and Windows NT. Volume 24 Moscow.: Dialog-MIFI, 1996 288 page.

Киселев С.А. Младший научный сотрудник НИЧ ГОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН».

Григорьев А.С. Младший научный сотрудник НИЧ ГОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН».

Геранюшкин А.В. Старший преподаватель кафедры «Машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов» ГОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», кандидат технических наук.

Синопальников В.А. Профессор кафедры «Машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов» ГОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», кандидат технических наук.

Пушков Р.Л. преподаватель кафедры «Компьютерные системы управления» ГОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН».

Kiselev S.A. The younger scientific associate of Scientifically Research Part MSTU STANKIN
Grigoriev A.S. The younger scientific associate of Scientifically Research Part MSTU STANKIN

Geranushkin A.V. The senior teacher, The candidate of technological sciences of the department «Cars and technology of highly effective processes of processing of materials» MSTU STANKIN

Pushkov R.L. Teacher of the «Computer-Aided Control Systems» department.

УДК 621.9.06.01:531

В.С. Хомяков
V S Khomyakov

Расчет зон устойчивости динамической системы станка при токарной обработке

Calculation of stability's zones of dynamic system of the lathe at processing

В статье на конкретном примере показано решение проблемы определения зон устойчивости динамической системы токарного станка при обработке по следу. При решении задачи было учтено влияние дополнительной обратной связи с запаздыванием. Расчет выполнен в среде Matlab с детальным анализом и распечаткой результатов.

In article is shown a concrete example of the decision of a problem of definition of stability's zones of dynamic system of the lathe at processing along a trace. At the time the task's decision was taken into account an influence of an additional reverse link of delay. Calculations were carried out in Matlab with the detailed analysis and a seal of results.

Ключевые слова: устойчивость, динамическая система, станок, запаздывание, расчет, Matlab

Keywords: stability, dynamic system, lathe, delay, calculation, Matlab.

Известно, что практически всегда при обработке на станках резание происходит по следу, оставшемуся на обработанной поверхности заготовки от предыдущего ее контакта с инструментом. Резание по следу приводит к возникновению регенеративных колебаний в замкнутой динамической системе станка и ухудшению качества обработанной поверхности.

Одним из первых эту задачу применительно к станкам рассмотрел R.S.Hahn [1], затем регенеративными колебаниями при обработке занимались S. Tobias и W. Fishwick [2], В.А.Кудинов [3], M.Weck и K.Teipel [4] и др.

В России при решении задач обработки по следу обычно используется развитый В.А.Кудиновым подход, вытекающий из анализа замкнутой динамической системы станка с учетом запаздывания. Запаздыванием называют время, через которое следы обработки, возникшие в данный момент времени, вновь возвращаются в зону резания. При точении время

запаздывания равно времени одного оборота заготовки
$$\tau = \frac{60}{n}$$

где τ - время запаздывания, с, n - частота вращения заготовки, об/мин.

При решении поставленной выше задачи расчета динамической системы станка восполь-