

На правах рукописи

Григорьев Антон Сергеевич



ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЗЦОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИХ
ОСТАТОЧНОЙ СТОЙКОСТИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ
НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ СИСТЕМЫ ЧПУ

Специальность 05.13.06 - «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (технические системы)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2012 г.

Работа выполнена на кафедре «Компьютерные системы управления» ФГБОУ ВПО Московском государственном технологическом университете «СТАНКИН».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные системы управления» ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»
Мартинов Георги Мартинов

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, директор филиала ФГБОУ ВПО Московского государственного университета приборостроения и информатики (МГУПИ) г. Кимры Аршанский Михаил Маркович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Компьютерная графика и специализированные технические и программные средства» Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН) Разумовский Алексей Игоревич

Ведущее предприятие: ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

Защита диссертации состоится «23» мая 2012 года, в 12:00 часов, на заседании диссертационного совета Д.212.119.02 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет приборостроения и информатики», г. Москва, ул. Стромынка, д.20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет приборостроения и информатики», г. Москва, ул. Стромынка, д.20.

Отзывы по автореферату в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по адресу: 107996, г. Москва, ул. Стромынка, д.20, ФГБОУ ВПО «МГУПИ».

Автореферат разослан «20» апреля 2012 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
профессор



Зеленко Г.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диагностирование режущего инструмента и прогнозирование его остаточной стойкости применяют при обработке заготовок на станках с ЧПУ, где процесс выполняется без участия оператора, и необходимо гарантированное обеспечение окончания технологического перехода без смены и поломки режущего инструмента. Проблема состоит в том, что стойкость даже одной партии инструмента имеет довольно широкий разброс, и может колебаться от 15 до 35%. Если время работы инструмента определяется наихудшим образцом в партии, то наиболее стойкие образцы при фиксированной наработке используют свой ресурс лишь на 65%, что требует дополнительных затрат на использование большего количества режущего инструмента для обработки того же количества деталей.

Производства деталей, удовлетворяющее современные стандарты качества, требует осуществления непрерывного контроля над процессом обработки. Коммерческие системы в основном нацелены на диагностирование и мониторинг состояния режущего инструмента, без прогноза остаточной стойкости и работают только с теми системами ЧПУ, к которым они жестко адаптированы. Выполнено большое количество научных работ по решению задач прогнозирования износа инструмента, но они не ориентированы на функционирование в реальном времени.

Анализ диагностических систем ведущих мировых лидеров (PROMETEC GmbH, ARTIS, Brankamp System Prozessautomation GmbH, Nordmann GmbH & Co., Montronix GmbH) и исследование отечественных работ выявили следующие проблемы:

- в настоящее время отсутствуют решения, позволяющие осуществлять прогноз остаточной стойкости металлорежущего инструмента в реальном времени;
- алгоритмы автоматического диагностирования инструмента не поддерживают возможность их гибкого изменения без изменения и перекомпиляции всей системы;
- отсутствует единый подход к созданию инструментария диагностирования состояния и прогнозирования остаточной стойкости инструмента, позволяющий создавать как встраиваемые в систему ЧПУ решения, так и решения, реализуемые в виде автономных устройств на базе внешнего вычислителя.

Таким образом, тема диссертации, направленная на создание универсальной системы диагностирования состояния и прогнозирования остаточной стойкости резцов в реальном времени, является актуальной.

Цель работы: расширение технологических возможностей системы ЧПУ для обеспечения точностных характеристик изделия.

Задачи исследования. Для достижения цели в работе были поставлены следующие задачи:

- Проанализировать решения в области контроля состояния режущего инструмента.

- Построить модель функционирования инструментария диагностирования состояния и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента в реальном времени.
- Разработать архитектурную и потоковую модели инструментария.
- Разработать алгоритмы основных механизмов и построить ключевые компоненты системы.
- Реализовать инструментарий. Провести стендовые и станочные испытания и проверить полученные результаты на достоверность.

Методы исследования. Теоретические исследования в работе базировались на методах системного анализа, теории автоматического управления, теории резания, методах объектно-ориентированного проектирования (декомпозиции, абстракции), концепции объектно-ориентированного программирования. Использовались теоретические основы технологии .Net (для Windows) и язык описания разметки XML (eXtensible Markup Language).

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие научные результаты:

Установлена взаимосвязь между диагностическими признаками износа режущего инструмента и параметрами управления процессом токарной обработки в системе ЧПУ, основанная на использовании эталонных значений диагностических признаков для пары «инструмент – обрабатываемый материал», определяющих зоны приработки, устойчивого износа и катастрофического износа режущего инструмента.

На основе установленных взаимосвязей построена модель функционирования инструментария, в реальном времени диагностирующего режущий инструмент и прогнозирующего его остаточную стойкость, для выявления момента своевременной замены инструмента с целью избежания поломки инструмента при выполнении технологического перехода.

Разработан запатентованный способ компонентного построения инструментария, позволяющий создавать его либо в виде встраиваемого в систему ЧПУ приложения, либо в виде автономного модуля, подключаемого к системе ЧПУ через контроллер электроавтоматики.

Разработан работающий в реальном времени алгоритм оценки износа инструмента (на основе анализа силы резания и сравнения с базой данных эталонных значений) и прогнозирования остаточной стойкости для принятия решения о дальнейшем использовании инструмента.

Практическая значимость работы заключается в:

- разработанной методике построения инструментария диагностирования инструмента и прогнозирования его остаточной стойкостью режущего инструмента в процессе обработки;
- разработанных программных модулях, позволяющих реализовывать как встраиваемые в систему ЧПУ решения, так и решения, реализуемые в виде автономных устройства на базе внешнего вычислителя.

Апробация работы. Теоретические и практические результаты, полученные автором, докладывались на заседаниях кафедры «Компьютерные системы управления» ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», семинарах Научно-образовательного центра в области компьютерного моделирования и управления технологическими системами, созданного МГТУ «СТАНКИН» совместно с Институтом проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, а также на 3-ей отраслевой конференции-форума «Технологии информационного общества» посвященной 150-летию со дня рождения А.С.Попова, на международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения» - Севастополь 2010, на международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2009 и 2010 гг.).

Разработанный инструментарий в составе системы ЧПУ используется в учебном процессе по дисциплинам «Структура и матобеспечение систем управления» и «Проблемы управления технологическими процессами в машиностроении», преподаваемым на кафедре «Компьютерные системы управления» МГТУ «СТАНКИН».

Практические разработки по данной теме отмечены дипломом 10-й юбилейной международной специализированной выставки Передовые Технологии Автоматизации «ПТА-2010», серебряными медалями XIII и XIV Московских Международных Салонов Изобретений и Инновационных технологий «Архимед – 2010» и «АРХИМЕД-2011», золотой медалью X Московского международного салона инноваций и инвестиций 2010 г.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы при создании диагностических систем при выполнении работ в рамках государственных контрактов ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009—2013 по темам: «Исследование и разработка многопараметрического комплекса для диагностики процесса резания, интегрированного в многофункциональную систему числового программного управления» (ГК № 14.740.11.0336 от 17.09.2010), «Обработка, хранение, передача и защита информации в распределенных автоматизированных системах управления технологическими процессами» (ГК № П963 от 27.05.2010) и в рамках ФЦП "Национальная технологическая база" на 2007 - 2011 годы по теме: «Создание универсального интеллектуального комплекса для механообрабатывающего оборудования с ЧПУ» - шифр «Диагностика» (ГК № 9411.1003702.05.011).

Результаты диссертации внедрены на ОАО СМЗ (Савеловский машиностроительный завод) и используются на токарных станках с системой ЧПУ серии АТ.

На основе результатов работы созданы 3 объекта интеллектуальной собственности в виде патента на изобретение и свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных статей (из них 4 в журналах, рекомендованных ВАК), включая тезисы докладов,

опубликованные в рамках международных и региональных научно-технических конференций и 1 учебное пособие с гифом УМО АМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 63 наименований. Основная часть работы изложена на 108 страницах машинописного текста, содержит 51 рисунок, 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, отмечена ее научная новизна и практическая ценность.

В первой главе был проведен анализ современных диагностических систем и современных систем сбора и обработки информации. Был выявлен ряд требований, которые должны предъявляться к разрабатываемому инструментарию.

На основе научных трудов Синопальникова В.А., Верещаки А.С., Григорьева С.Н., Сосонкина В.Л., Аршанского М.М., Мартинова Г.М., Зориктуева В.Ц., Козочкина М.П. и других специалистов в области диагностики режущего инструмента и разработки программного обеспечения систем управления проведен анализ решений в области диагностики состояния и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента в современных системах числового программного управления станочных комплексов.

Выход инструмента из строя до завершения технологического перехода или операции приводит к неисправимому браку, либо к дополнительным затратам на его исправление. Проблема особо остра при обработке деталей с большим количеством обрабатываемых поверхностей. В настоящее время существует острая потребность в разработке современной, независимой от типа системы управления, системы диагностирования режущего инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости в режиме реального времени.

Разработка инструментария основывается на решения следующих задач:

- снятие с элементов технологической системы сигналов (информации), адекватно отражающих состояние режущего инструмента,
- сбор информации для представления ее в виде, удобном для обработки и оценки состояния режущего инструмента,
- обработка информации для оценки состояния инструмента, прогнозирования его остаточной стойкости,
- принятие решения о дальнейшем использовании (неиспользовании) инструмента или, при необходимости, корректирования режимов резания.

Для реализации первой из перечисленных задач использовались результаты исследований и наработки, полученные на протяжении многих лет исследовательскими коллективами МГТУ «Станкин», АО «ЭНИМС», «ВНИИинструмент» и др. В частности, использовались положения, подтверждающие, что наработка до отказа технологической системы и её элементов является случайной величиной.

Сформулирован ряд требований, предъявляемых к инструментарию диагностирования и прогнозирования, в частности, инструментарий должен:

- быть удобным и простым в применении в производственных условиях;
- осуществлять процесс диагностирования и прогнозирования в процессе обработки изделия;
- обладать необходимой достоверностью и оперативностью принятия решений, например, об экстренном отводе инструмента до момента его поломки;
- иметь открытую архитектуру и позволять заменять алгоритм диагностирования и прогнозирования без изменений остальной части системы;
- иметь модульную организацию, позволяющую компоновать инструментарий как в виде встроенного в систему ЧПУ решения или в виде автономного решения на базе внешнего вычислителя.

Во второй главе определены диагностические признаки, построена модель функционирования инструментария, диагностирующего в реальном времени режущий инструмент и прогнозирующего его остаточную стойкость.

Регламентирование ресурса инструмента (или определение его эксплуатационной стойкости $T_{ЭК}$) осуществляется на стадии технологического проектирования. При этом необходимо учитывать два взаимоисключающих требования: с одной стороны, необходимо форсировать режимы резания для сокращения срока окупаемости станка, а с другой - следует снижать скорость для повышения надёжности инструмента и уменьшения затрат на инструмент.

Развитие очага износа во времени проходит три стадии: I– приработки; II– установившегося износа; III– катастрофического износа.

Прогнозирование остаточной стойкости инструмента для обработки следующей поверхности заключается в определении значения коэффициента $k = \operatorname{tg} \alpha$ в функции износа и определении зависимости, по которой будет нарастать износ в стадии II. Для этого в стадии установившегося износа (рис. 1) в моменты времени T_1 и T_2 замеряется величина износа h_1 и h_2 , соответственно: $k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_{32} - h_{31}}{T_{зд}}$, а остаточная стойкость инструмента на

предстоящий период его работы составит $T_{ост} = \frac{[h_3] - h_{3_2}}{k}$, где $[h]$ – предельно допустимый износ – технологический критерий отказа инструмента, установленный в предэксплуатационный период диагностирования. Для принятия решения по обработке очередной поверхности детали необходимо, чтобы $T_{ост} > T_{маш}^{i+1}$.

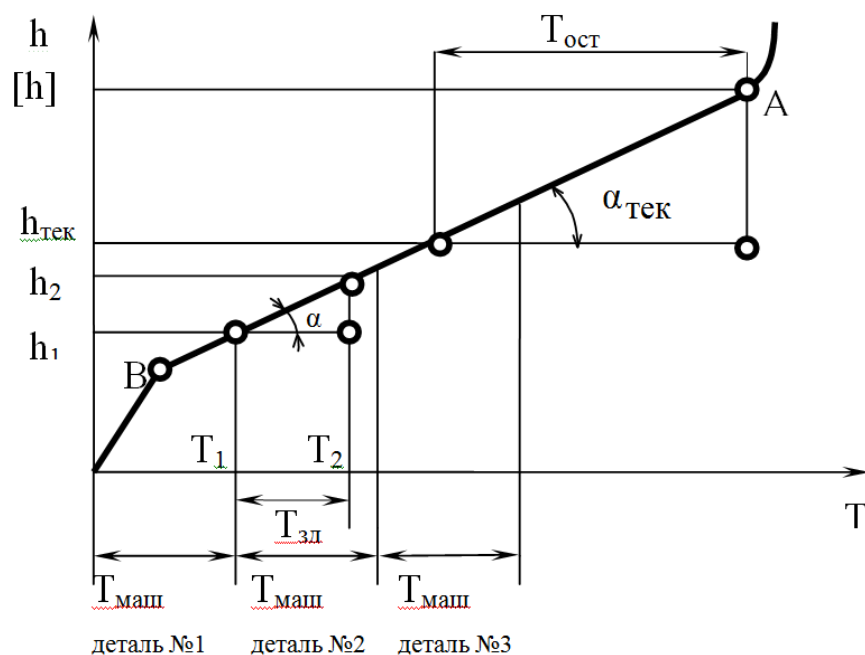


Рис. 1. Прогнозирование остаточной стойкости режущего инструмента

В работе решается задача постоянного мониторинга диагностического признака. Разложение режущей силы на составляющие по осям X, Y, Z упрощает определение ее величины. Координатные оси, по которым раскладывается сила резания, можно «привязать» к механизмам, с помощью которых преодолевается сопротивление резанию. При токарной обработке целесообразно использовать:

- функциональные связи между моментом сопротивления резанию, возникающим на заготовке под воздействием составляющей P_z , и моментом на валу электродвигателя;
- функциональные связи между составляющими силы и деформациями в подшипниках опоры шпинделя;
- функциональные связи между составляющей силы резания P_x и крутящим моментом на валу двигателя продольной подачи (или в опорах ходового винта суппорта продольной подачи).

Модель функционирования инструментария (рис. 2) отражает архитектурные компоненты и последовательность действий, необходимых для правильного сбора и обработки информации с датчиков, и последующего использования ее в алгоритмах диагностирования режущего инструмента.

Первым этапом является снятие и обработка сигналов, поступающих с датчиков из зоны резания (от вибродатчика, датчика акустической эмиссии, тензометрического датчика и т.д.), которые косвенно характеризуют износ инструмента. На втором этапе происходит оцифровка и предварительная обработка сигналов. Измеренные данные нормируются (чтобы избежать случайных значений сигнала), данные усредняются и передаются в алгоритм диагностирования). На третьем этапе алгоритмом диагностирования и прогнозирования оценивается: достаточен ли ресурс инструмента для

выполнения следующего технологического перехода, нужно ли снизить подачу для успешного завершения текущего технологического перехода, следует ли экстренно заменить инструмент во избежание поломки. На основании расчетов формируются управляющие сигналы, которые в дальнейшем подаются в систему ЧПУ.

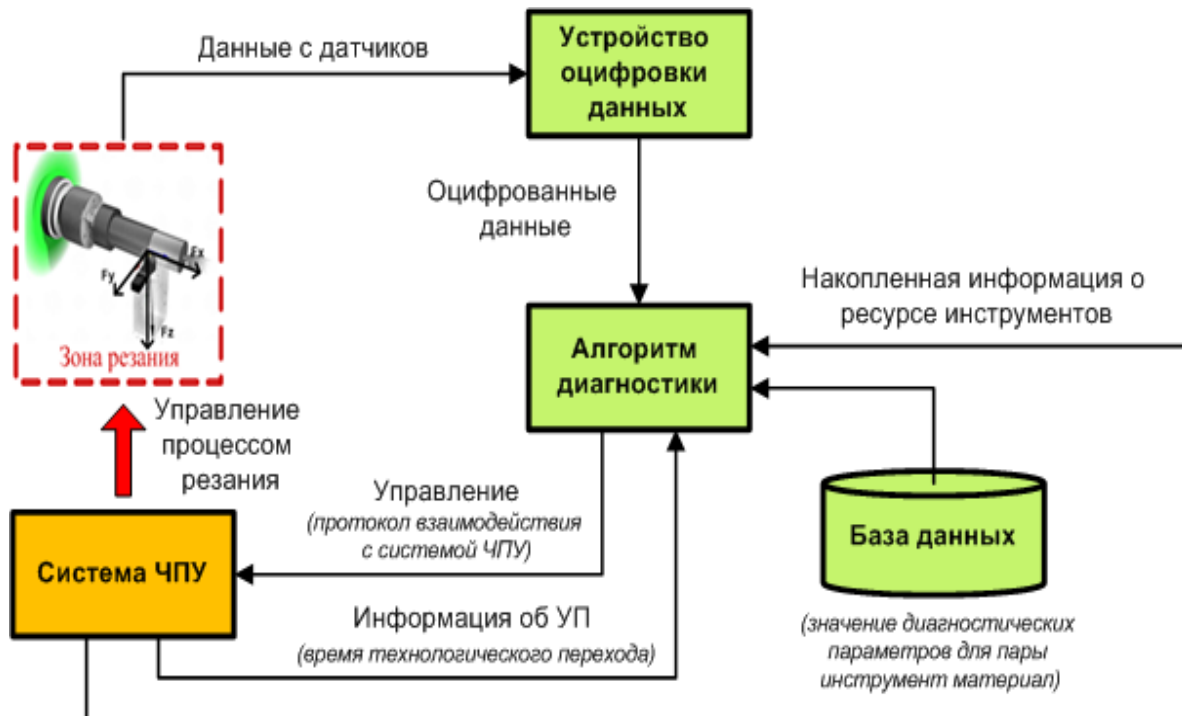


Рис.2. Модель функционирования инструментария диагностирования и прогнозирования

Расчеты проводятся с применением ранее полученных и сохраненных в базе данных эталонных значений. На четвертом этапе команды, сгенерированные алгоритмом диагностирования, поступают на выполнение в систему ЧПУ для управления исполнительными органами. Управляющими командами системы ЧПУ могут быть: команда на подналадку станка, остановку, смену инструмента, команда на коррекцию режимов обработки и т.д..

В третьей главе разработана обобщенная архитектурная и потоковая модель и предложен способ построения инструментария, специфицирован протокол передачи данных о состоянии режущего инструмента и протокол управления работой системы ЧПУ.

Модуль диагностирования запускается в системе реального времени как отдельный процесс - процесс, работающий параллельно с ядром либо на отдельном вычислителе для внешнего решения, либо на машине реального времени для встроенного решения (рис. 3). Предложенный подход позволяет обезопасить ядро при возникновении каких-либо ошибок или «зависании» модуля диагностирования в процессе его работы.

Система диагностирования встроена в состав окружения запуска и исполнения автономных алгоритмов диагностирования. В xml-файле конфигурации прописаны возможные алгоритмы и определены параметры их

запуска. Алгоритм диагностирования получает необходимую информацию от датчиков и выдает управляющие команды в ядро системы ЧПУ по протоколу взаимодействия.

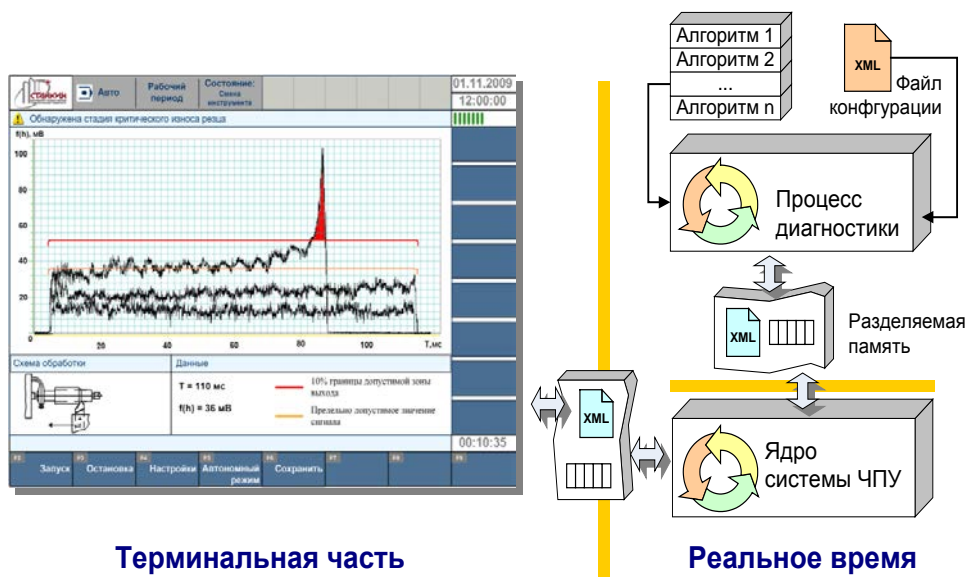


Рис. 3. Обобщенная архитектурная модель

Графическая часть модуля диагностирования реализована в виде компонента, интегрируемого в интерфейс оператора. Через ядро системы ЧПУ подсистема диагностирования передает данные в графический компонент, используя формат xml. Графический компонент интерпретирует данные от подсистемы диагностирования и отображает их на экран в графическом и текстовом видах.

Встроенное решение (рис. 4) подразумевает обработку информации алгоритмами диагностирования и прогнозирования непосредственно в системе ЧПУ, посредством интеграции программных компонентов. Взаимодействие системы ЧПУ с блоком обработки сигнала осуществляется напрямую через интерфейс RS-485 или Ethernet.



Рис. 4. Реализация встроенной системы диагностирования режущего инструмента в ЧПУ

Внешнее решение (рис. 5) обеспечивает независимость инструментария от системы ЧПУ. Это позволяет использовать одну систему диагностирования для обслуживания станков с системами ЧПУ разных производителей.

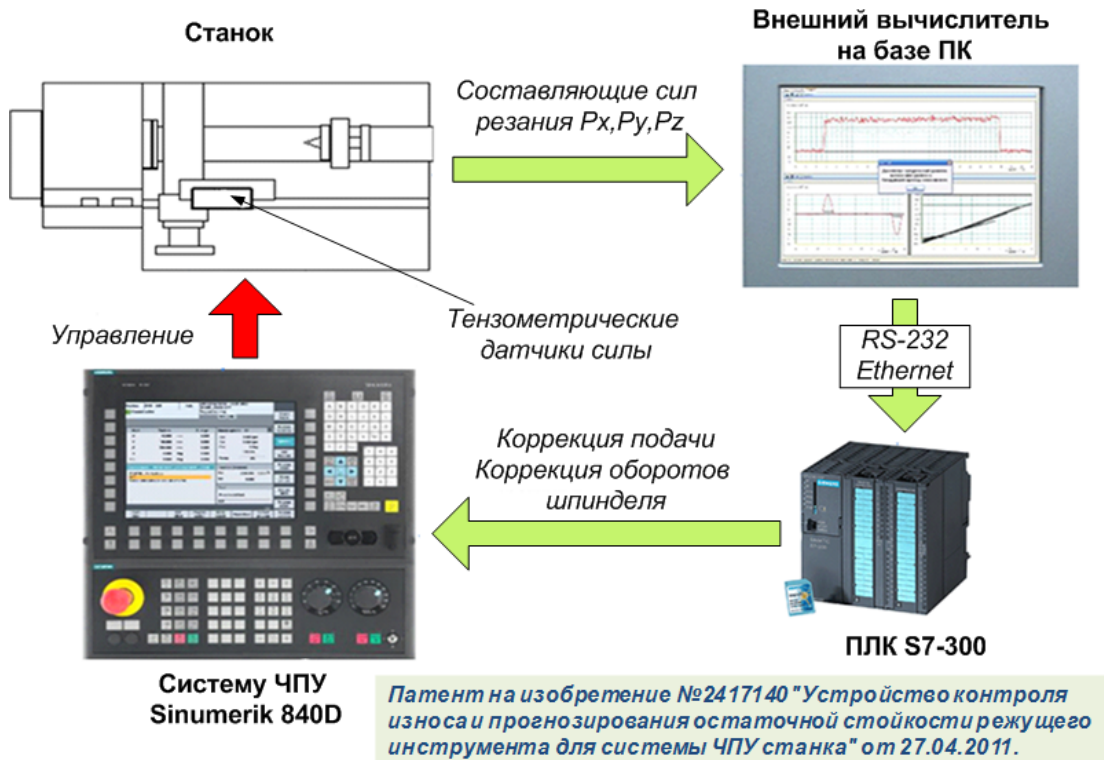


Рис. 5. Подключение системы диагностирования по типу внешнего вычислителя

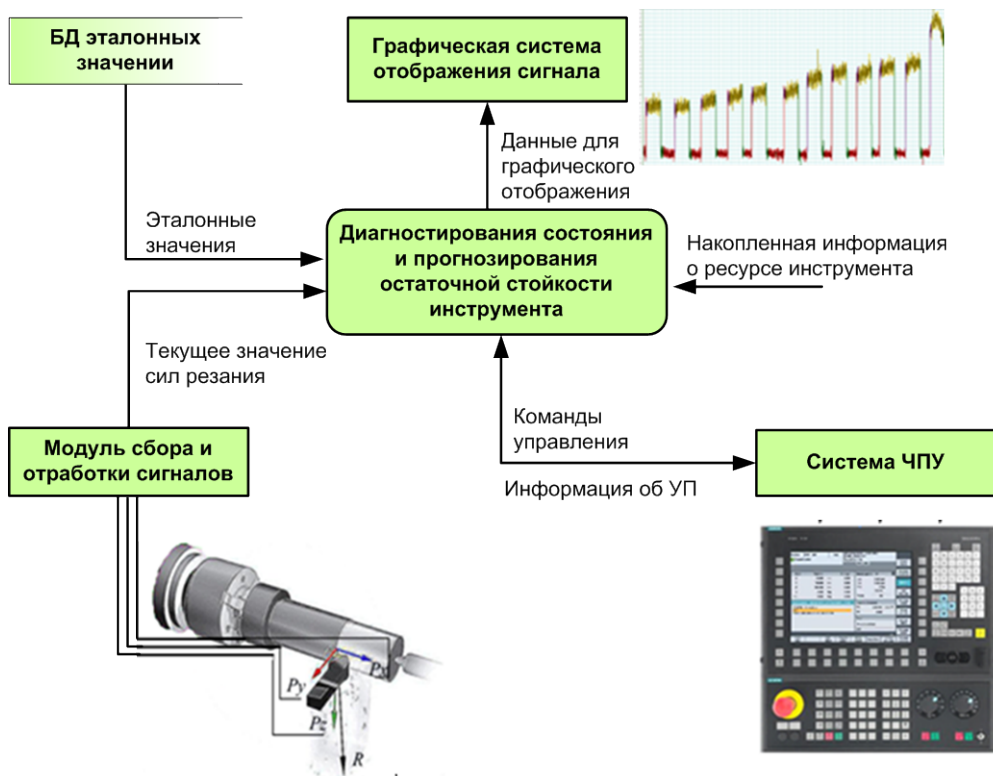


Рис. 6. Поточная модель системы диагностирования состояния и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента в реальном времени

Тензометрические датчики подсоединяются к входам вычислителя для передачи информации о составляющих силы резания (P_x , P_y , P_z). Вычислитель формирует команды управления для системы ЧПУ станка и визуализации информации на экране оператора (рис. 6).

Информация о составляющих силы резания поступают с датчиков, расположенных в корпусе резцедержателя, через АЦП в модуль сбора и обработки информации. Полученные цифровые значения передаются алгоритму диагностирования и прогнозирования для обработки, затем информация поступает на графический вывод в интерфейс пользователя. При необходимости система ЧПУ получает управляющие сигналы на подналадку или смену инструмента.

Программное обеспечение выполнено в виде отдельного приложения, запускаемого в операционной системе RT Linux, и построено на основе открытой модульной архитектуры (рис. 7).

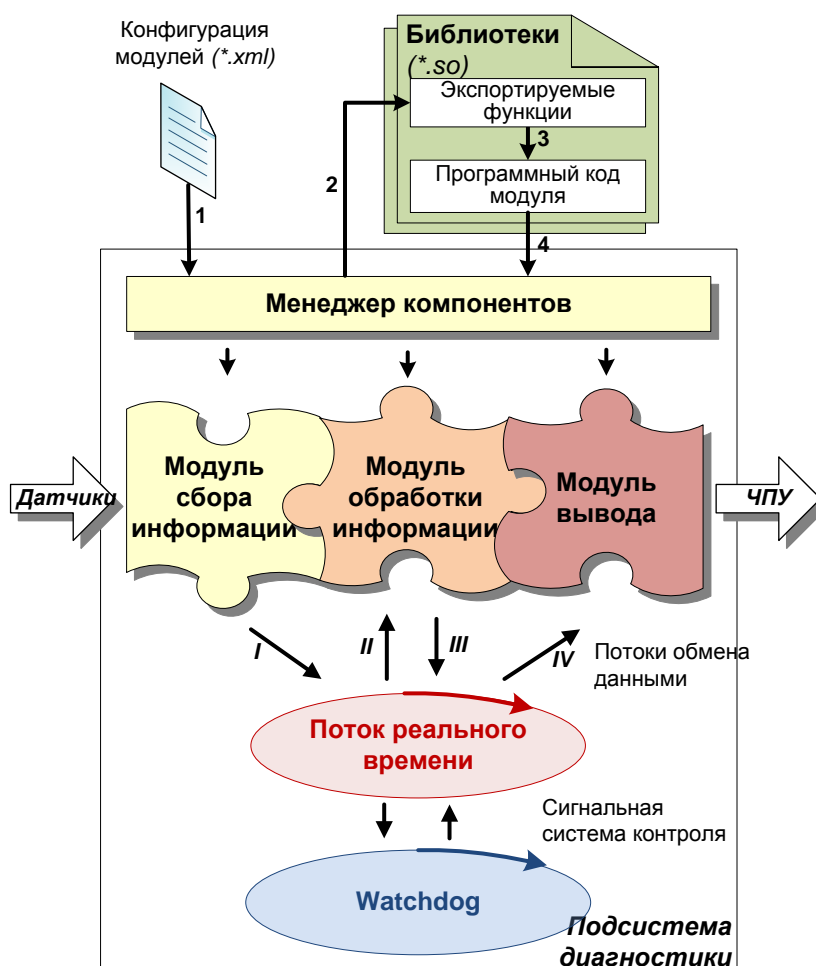


Рис. 7. Модульная организация программного обеспечения инструментария подсистемы диагностирования

Инструментарий реализован в виде трех модулей и блока конфигурации. Модуль сбора информации отвечает за взаимодействие алгоритма диагностирования с физическими датчиками сбора информации о процессе обработки. Модуль обработки информации реализует алгоритм диагностирования состояния режущего инструмента и выдает прогноз об

остаточном ресурсе инструмента. Модуль вывода реализует передачу результатов работы диагностического алгоритма системе ЧПУ. Блок конфигурации на основании конфигурационного xml-файла запускает алгоритм диагностирования с соответствующими параметрами инициализации.

Разбиение на модули позволяет абстрагировать алгоритмы диагностирования и прогнозирования от специфики общения с датчиками и от способов взаимодействия с системой ЧПУ, обеспечивая таким образом гибкость и открытость предлагаемого решения.

Сформированы требования к протоколу взаимодействия инструментария с ядром системы ЧПУ и предусмотрено адаптивное управление подачей режущего инструмента для стабилизации упругих деформаций и снижения риска поломки инструмента. Учтены некоторые особенности токарной обработки: переходы при токарной обработке могут осуществляться на поверхностях разных диаметров; кроме того, существует торцевая обработка, идущая с непрерывным изменением диаметра. Постоянное число оборотов в описанных ситуациях приводит к переменности скоростью резания, что не позволяет обеспечить требуемую точность и шероховатость.

В четвертой главе разработаны алгоритмы основных механизмов и построены ключевые компоненты.

Алгоритм *контроля диагностирования инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости* показан на рис. 8. В работе использовались тензометрические датчики измерения составляющих силы резания как диагностических признаков износа. Инициализация алгоритма подразумевает подготовительные операции по подключению к датчикам тарированию входных сигналов. Далее запускается цикл снятия информации с датчиков системы контроля инструмента с заданным периодом выборки сигнала - $T_{зд}$.



Рис. 8. Алгоритм контроля инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости

В процессе получения данных выделяют зоны: холостого хода для подвода инструмента, врезания, обработка поверхности детали и выхода инструмента (рис. 9).

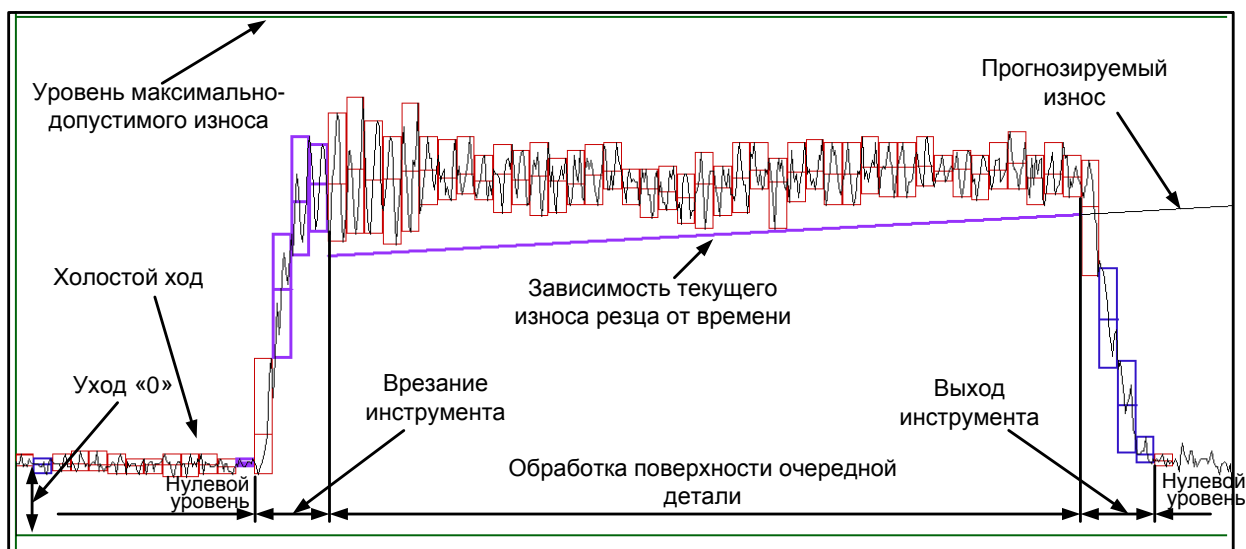


Рис. 9. Виды сигналов датчика силы резания при обработке детали

Исключение данных из ненужных зон обработки осуществляется посредством определения момента начала обработки очередной поверхности и определения момента окончания обработки. Реализация данных алгоритмов практически идентична. Весь поток получаемых данных разбивается на группы из последовательных числовых значений сигнала. В каждой группе рассчитываются максимальное, минимальное и среднее значения сигналов. Далее сравниваются эти значения последовательных групп и, в зависимости от их взаимного расположения вырабатывается сигнал на начало или окончание обработки поверхности (рис.10).

С целью исключения из расчетов случайных выбросов сигнала введен дополнительный уровень контроля сигналов, в котором последовательно рассматриваются 3 – 5 групп данных и, если значение сигнала в этих группах не повторяется с учетом допуска, оно считается ложным и игнорируется.

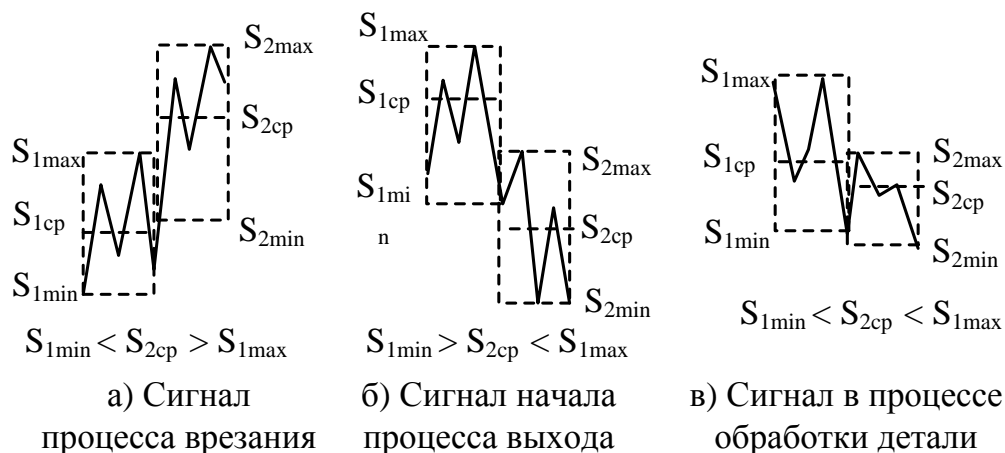


Рис. 10. Характер сигналов при врезании инструмента, выходе и обработке поверхности детали

В пятой главе представлено практическое заполнение эталонных значений базы данных инструментария и проверка на достоверность полученных данных.

Проведен ряд испытаний на токарном станке. После каждого прохода измерялась величина износа резца, и сопоставлялись сила резания и величина измеренного износа. Для адекватного определения сил резания производилась тарировка датчиков и составлялись таблицы зависимости сил резания от показаний датчиков. Таблицы составлены для определения усилия по трем осям. Усилия замерялись при различных коэффициентах измерения.

После проведенных экспериментов и сопоставления силы резания и максимального износа, полученные данные вводились в систему, и осуществлялась проверка. Последовательно обрабатывались одинаковые участки заготовки до тех пор, пока не появлялось сообщение о критическом состоянии износа инструмента. В приведенном примере (рис. 11) было произведено 12 проходов до полной выработки ресурса инструмента.

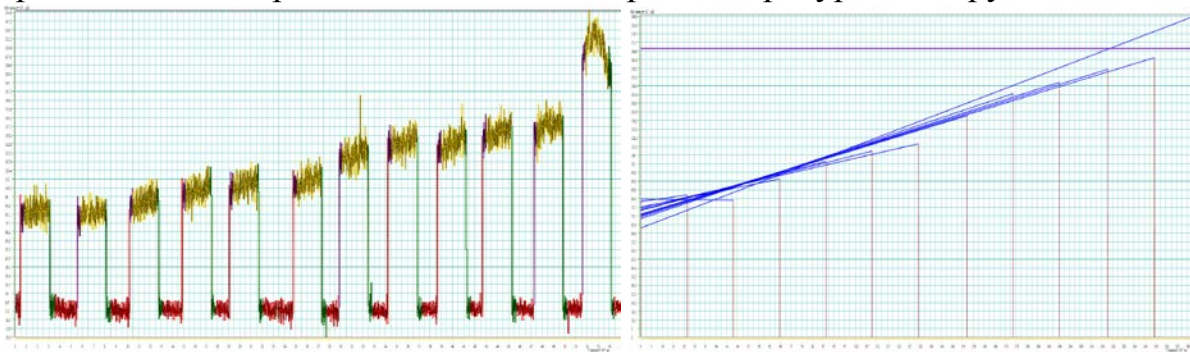


Рис. 11. Реализация диагностического процесса

Во время получения данных с датчиков, система строит наклонные линии, по методу наименьших квадратов для расчета остаточной стойкости.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В работе решена задача, имеющая существенное значение для автоматизированного машиностроения и заключающаяся в обеспечении точностных характеристик изделия посредством диагностирования состояния и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента в реальном времени.
2. Проведенный анализ позволил выявить отсутствие системных решений, осуществляющих диагностирование металлорежущего инструмента и прогноз его остаточной стойкости в реальном времени.
3. Установлена взаимосвязь между диагностическими признаками износа режущего инструмента и параметрами управления процессом токарной обработки в системе ЧПУ, основанная на эталонных значениях диагностических признаков для пары «инструмент – обрабатываемый материал», определяющих зоны приработки, устойчивого износа и катастрофического износа режущего инструмента.
4. На основе установленных взаимосвязей построена модель функционирования инструментария, диагностирующего в реальном времени

режущий инструмент и прогнозирующего его остаточную стойкость, для выявления момента своевременной замены инструмента с целью избежания поломки инструмента при выполнении технологического перехода.

5. Разработан запатентованный способ компонентного построения инструментария, позволяющий создавать его либо в виде встраиваемого в систему ЧПУ приложения, либо в виде автономного модуля, подключаемого к системе ЧПУ через контроллер электроавтоматики.

6. Разработан работающий в реальном времени алгоритм оценки состояния инструмента (на основе анализа силы резания и сравнения с базой данных эталонных значений), прогнозирования остаточной стойкости, и принятия решения о дальнейшем использовании инструмента.

7. Полученные результаты могут быть применены на предприятиях машиностроительного профиля, использующих станочное оборудование с ЧПУ; а также в учебном процессе по направлению 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Григорьев А.С. Инструментарий системы ЧПУ для диагностики и прогнозирования износа режущего инструмента в реальном времени при токарной обработке // Вестник МГТУ "Станкин". 2012. №1. С. 74–79.

2. Нежметдинов Р.А., Соколов С.В., Обухов А.И., Григорьев А.С. Расширение функциональных возможностей систем ЧПУ для управления механо-лазерной обработкой // Автоматизация в промышленности. №5, 2011 г., с. 49-53.

3. Мартинова Л.И., Григорьев А.С., Соколов С.В. «Диагностика и прогноз износа режущего инструмента в процессе обработки на станках с ЧПУ» Автоматизация в промышленности №5, М. 2010 г.

4. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С. Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в реальном времени // Спецвыпуск Т-Comm, июль 2009. С.121-124.

Другие публикации автора:

5. Мартинов Г.М., Григорьев А.С. Разработка пользовательских токарных циклов в системе ЧПУ WinPCNC // Объединенный научный журнал. 2007. №6. С. 48–50.

6. Киселев С.А., Григорьев А.С., Геранюшкин А.В., Пушков Р.Л. Прогнозирование стойкости инструмента при чистовой обработке // Вестник МГТУ "Станкин". 2008. №4. С. 23–32.

7. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С., Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в реальном времени // Тезисы 3-ей отраслевой конференции-форума «Технологии информационного общества» посвященной 150-летию со дня рождения А.С.Попова. Москва.-2009.

8. Соколов С.В., Григорьев А.С., Сероухов П.Ю. «Построение универсальной встраиваемой системы 3D визуализации технологического процесса металлообработки» Труды международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2009), стр. 138-140, М. 2009.
9. Соколов С.В., Григорьев А.С. «Построение автономной подсистемы диагностики режущего инструмента для станков с ЧПУ» «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». Материалы международной научно-технической конференции. Том 1, стр. 33-35, Севастополь 2010
10. Григорьев А.С., Никищечкин П. А., Сероухов П. Ю., Соколов С.В. «Интеграция алгоритмов диагностики режущего инструмента в отечественную систему ЧПУ» Труды международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2010), стр. 138-140, М. 2010.
11. Емельянова Е.А., Григорьев А.С., Пушков Р.Л., Мартинова Л.И. Программирование систем ЧПУ "HEIDENHAIN". Учебное пособие. – М.: МГТУ "Станкин", 2010. – 87с. (гриф УМО АМ)
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010614074 «Универсальный редактор управляющих программ для систем числового программного управления» от 23.06.2010.
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010617381 «Универсальная виртуальная панель управления технологическим оборудованием» от 10.11.2010.
14. Патент на изобретение №2417140 "Устройство контроля износа и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента для системы ЧПУ станка" от 27.04.2011. (Мartiнов Г.М., Синопальников В.А., Григорьев А.С.).