

## Инструментарий системы ЧПУ для диагностики и прогнозирования износа режущего инструмента в реальном времени при токарной обработке

### CNC tool for diagnostic and prediction of cutting tool wear in real time for turning processing

*Определены основные требования для построения инструментария диагностики и прогнозирования износа режущего инструмента в реальном времени. Построена архитектурная модель инструментария с применением модульной организации программного обеспечения и возможности интеграции новых алгоритмов диагностики. Предложено универсальное решение для осуществления диагностики и прогноза износа режущего инструмента как на базе внешнего вычислителя, так и встраиваемого в систему ЧПУ.*

*Main specifications for developing of diagnostic and prediction tool in real time were defined. Architectural model of tool with modular organization of software and possibility for integration of new diagnostic algorithms was built. Universal solution for diagnostic and prediction of cutting tools wear realization was offered as on the base of external evaluator, and also as embedded evaluator in CNC system.*

**Ключевые слова:** диагностика, прогнозирование, реальное время, составляющие сил резания, тензометрические датчики, система ЧПУ.

**Key words:** diagnosis, prediction, real time, the components of cutting forces, tensometric sensor, CNC control.

#### Введение

Диагностика и прогноз износа режущего инструмента применяются при обработке заготовок на станках с ЧПУ, где процесс выполняется без участия оператора, и поэтому должно быть обеспечено завершение технологической операции без замены инструмента и без его поломки [1,2]. В настоящее время производители пытаются решить эту задачу с применением статистических методов, отслеживая время работы инструмента и для страховки оставляя неиспользованными 20-30% от ресурса режущего инструмента [3,4]. Такой вариант допустим при достаточно стабильных параметрах и качестве инструмента. Для от-

ественного инструмента задача осложнена тем, что стойкость инструмента даже одной партии имеет довольно широкий разброс. Кроме того, современные машиностроительные предприятия широко применяют сборные режущие инструменты содержащие несколько режущих пластинок, опять же имеющих неодинаковую стойкость. Все это повышает риск полу-



**Рис. 1.** Архитектурная модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента в реальном времени

чения брака или поломки инструмента в процессе резания, чего производитель не желает допустить особенно при обработке заготовок из дорогостоящих материалов, кроме того, такие ситуации недопустимы, когда обработка заготовок продолжается в течение длительного времени: неисправимый брак почти готовой детали, вызванный поломкой инструмента, может стоить слишком больших затрат.

**1. Анализ современных диагностических систем**

На рынке существует множество диагностических систем, отвечающих за надежность и контроль процесса механической обработки изделий в автоматизированном производстве, они используют разные принципы и подходы. Многообразие существующих решений обусловлено разбросом критериев оценки износа инструмента и отсутствием единого подхода,

соответствующего технологическим задачам и техническим возможностям конкретных технологических комплексов и оборудования. Результаты оценки основных систем, представленных на рынке, сведены в табл. 1.

Зарубежные системы, как правило, ориентированы только на диагностику износа режущего инструмента, а прогноз остаточной стойкости не производится. Отечественные коммерческие решения для диагностики инструмента в реальном времени отсутствуют [5-7]. В результате анализа сформирован ряд требований для разрабатываемой системы диагностики и прогнозирования в реальном времени износа режущего инструмента при токарной обработке. С учетом всех требований разработана архитектурная модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента в реальном времени (рис. 1).

Таблица 1

Параметры для сравнения	Системы					
	PROMETEC Promos (Германия)	NORDMANN (Швейцария)	MONTRONIX Diagnostic Tools (Германия)	Brankamp iMBoard (Германия)	Brankamp CMS (Германия)	СТАНКИН Machine Tool Diagnostics (Россия)
Способ отображения результатов	График зависимости сила/время	График зависимости сила/время	График зависимости сила/время	График зависимости сила/время	Текстовая индикация	График зависимости сила/время
Интеграция с системами ЧПУ	SINUMERIK 810D/840D	SINUMERIK 840D, REXROTH, FUNUC	SINUMERIK 810D/840D	SINUMERIK 810D/840D	Автономный модуль	SINUMERIK 840D АxiOMA
Диагностические данные	Силы $P_x, P_y, P_z$ , АЭ, мощности, вибродатчики	Силы $P_x, P_y, P_z$ , АЭ, мощности, дистанционный, вибродатчики	Силы $P_x, P_y, P_z$ , АЭ, мощности, вибродатчики	Работа с различными датчиками	АЭ и продольной деформации	Силы $P_x, P_y, P_z$
Реализация функции прогнозирования в реальном времени	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Реализована
Реализация функции диагностики режущего инструмента в реальном времени	Реализована	Реализована	Реализована	Реализована	Реализована	Реализована
Независимость от системы ЧПУ	Только встроенная версия	Только встроенная версия	Только встроенная версия	Только встроенная версия	Автономный модуль	Возможна реализация в виде автономного модуля
Возможность использования различных диагностических алгоритмов	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Реализована

Рис. 2. Модульная организация программного обеспечения инструментария подсистемы диагностики

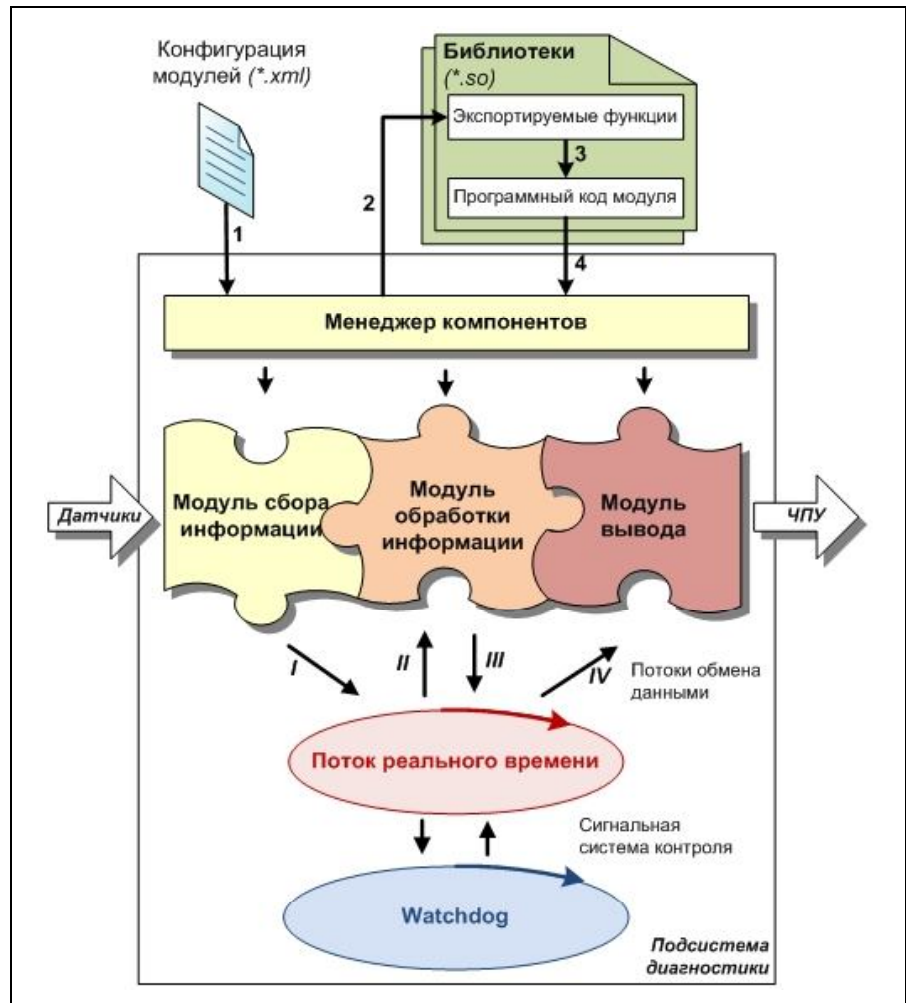
Первым этапом является получение с датчиков из зоны резания сигналов, которые косвенно характеризуют износ инструмента (вибродатчик, датчик акустической эмиссии, тензометрический и т.д.). На втором этапе полученные сигналы отправляются в модуль сбора и обработки сигналов, где он преобразуется в цифровой сигнал для передачи и обработки в ядре системы диагностики и прогнозирования в режиме реального времени.

## 2. Модульная организация программно-реализованной подсистемы диагностики

Программное обеспечение инструментария диагностики выполнено в виде отдельного приложения [8], запускаемого в операционной системе RT Linux, и построено на основе открытой модульной архитектуры [9] (рис. 2).

Программная подсистема диагностики включает три модуля, связанные с алгоритмом диагностики и прогнозирования, и модуль конфигурации. Модуль сбора информации отвечает за взаимодействие алгоритма диагностики с физическими датчиками сбора информации о процессе обработки. Модуль производит конфигурирование алгоритмов работы с датчиками, считывание и интерпретацию полученной информации. Модуль обработки информации реализует алгоритм диагностики износа режущего инструмента и выдает прогноз об остаточном ресурсе инструмента. Модуль вывода реализует передачу результатов работы диагностического алгоритма системе управления верхнего уровня.

Разбиение на модули позволяет абстрагировать алгоритмы диагностики и прогнозирования от специфики общения с датчиками и от способов взаимодействия с системой ЧПУ. Это делает систему диагностики гибкой и легко адаптируемой при использовании различных типов датчиков и при подключении к другим системам ЧПУ.



Менеджер компонентов инструментария диагностики и прогнозирования отвечает за загрузку необходимых модулей и конфигурируется через XML файл. Инструментарий может быть переконфигурирован без какого-либо изменения ее программного кода. На первом шаге из файла конфигурации считывается имя загружаемого модуля. На втором и третьем шагах подгружается библиотека, в которой реализован модуль, и создается экземпляр объекта модуля по его уникальному идентификатору. На четвертом шаге созданный модуль добавляется в коллекцию модулей внутри менеджера компонентов. В дальнейшем тип каждого модуля (модуля сбора информации, модуля обработки информации и модуля вывода) может быть идентифицирован при помощи функций базового класса, и указатель на модуль будет преобразован к стандартному интерфейсу для данного типа модулей.

Поток реального времени отвечает за обеспечение своевременной реакции системы, тактирование работы алгоритма и обработку данных. Для контроля стабильности работы подсистемы диагностики введен



Рис. 3. Реализация встроенной системы диагностики

ды) коррекции режимов обработки и т.д.

Предложенная архитектура позволяет реализовать на базе выделенных компонентов одно из двух решений: встроенное в систему ЧПУ или внешнее.

Встроенное решение (рис. 3) подразумевает обработку информации алгоритмами диагностирования и прогнозирования непосредственно в системе ЧПУ. Это обеспечивается путем интеграции программных

сторожевой поток (watchdog-поток) с приоритетом большим, чем у потока реального времени, который контролирует работу потока реального времени и обрабатывает случаи его сбоя или «зависания».

### 3. Инвариантность компоновки архитектурного решения

Информация, полученная для прогнозирования состояния режущего инструмента, поступает в блок алгоритмов диагностики, в котором проводятся расчеты, и на основании результатов этих расчетов определяются управляющие сигналы для системы ЧПУ. Алгоритмы диагностики представлены в виде XML файлов и могут подгружаться по мере необходимости. Управляющими сигналами системы ЧПУ могут быть: команды для подналадки станка, сигналы остановки, команды смены инструмента, сигналы (коман-

компонентов, реализующей диагностику, в систему ЧПУ [10]. Взаимодействие системы ЧПУ с модулем сбора и обработки сигнала осуществляется напрямую через интерфейс RS-485 или Ethernet.

Внешнее решение (рис. 4) обеспечивает независимость системы диагностики и прогнозирования износа режущего инструмента от системы ЧПУ. Это дает возможность использовать одну систему диагностики для обслуживания неограниченного числа станков с системами ЧПУ разных производителей.

Оперативное управление реализуется через контроллер электроавтоматики [11].

### 4. Методика прогнозирования

Методика прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента основана на классической зависимости износа инструмента от времени его работы, в которой при рациональных условиях работы

каждого инструмента выявляются три стадии: приработка, установившийся (нормальный) износ и катастрофический износ. При установившемся износе экспериментальные точки располагаются случайно около некоторой прямой и могут быть аппроксимированы линейной функцией (рис. 5).

Для реализации работы алгоритма потребовалось создание базы данных эта-

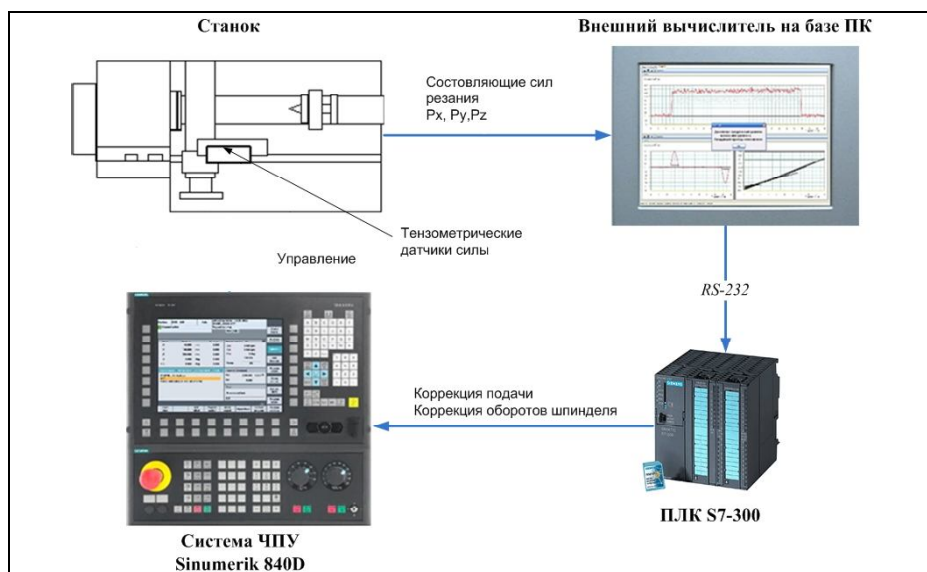


Рис. 4. Подключение системы диагностики по типу внешнего вычислителя



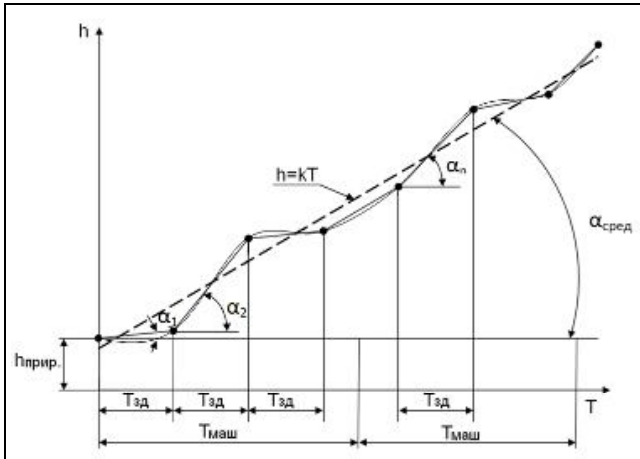


Рис. 5. Зависимость износ-время в стадии установившегося износа ( $T_{\text{маш}}$ -машинное время,  $T_{\text{зд}}$  – задержка опроса,  $h_{\text{прир}}$ - зона приработки)

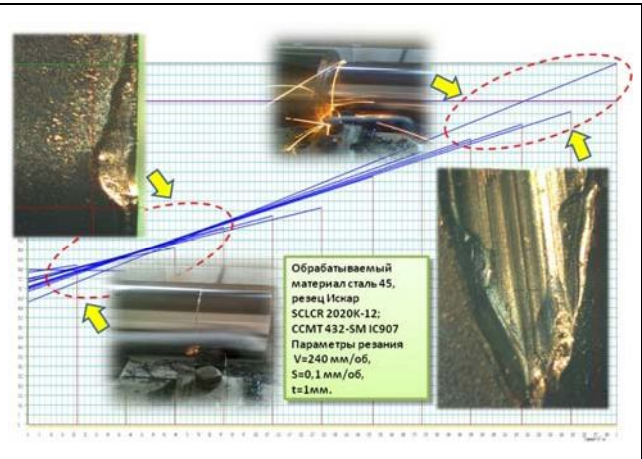


Рис. 6. Расчет прогноза и сопоставление с состоянием режущего инструмента

лонных значений для связи: материал детали – инструмент – параметры резания – измеряемые параметры процесса резания. Наполнение базы данных осуществлялось посредством проведения множества тестов. На рис. 6 проиллюстрировано сопоставление получаемых прогнозов и состояния режущей кромки инструмента.

### Заключение

Разработанный инструментарий позволяет обеспечивать размерную точность обрабатываемой заготовки и качественные характеристики поверхностей деталей при механической обработке, что приводит к существенному снижению процента брака. Предложенный подход позволяет реализовать инструментарий диагностики и прогноза в реальном времени износа режущего инструмента. На базе общих компонентов подсистема может быть реализована либо как встроенное в систему ЧПУ решение [12, 13], либо как автономное решение. Используемая компонентная организация программно-аппаратных модулей обеспечивает открытость решения и позволяет расширять систему и интегрировать в нее новые алгоритмы прогнозирования износа режущего инструмента.

### Библиографический список

1. Григорьев С.Н., Гурин В.Д., Козочкин М.П., Кузовкин В.А., Мартинов Г.М., Сабиров Ф.С., Синопальников В.А., Филатов В.В. Диагностика автоматизированного производства. - М.: Машиностроение, 2011. – 600 с.
2. Мартинов Г.М., Трофимов Е.С. Модульная компоновка и построение прикладных приложений диагностики

систем управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №7. С. 44-50.

3. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем: Учебник. – М.: Высшая школа, 2005. – 343с.: ил.
4. Черняков Б.И., Григорьев С.Н. Тенденции развития технологического оборудования в начале XXI века // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 10. С. 2-7.
5. Тимофеев В.Ю., Зайцев А.А., Крутов А.В. Модель устройства диагностики металлорежущего инструмента по сигналу термо-эдс // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 5. С. 42-45.
6. Остапчук А.К., Маслов Д.А., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю., Комиссаров А.Ю. Применение виброакустики для контроля износа режущего инструмента // Естественные и технические науки. 2009. № 2. С. 266-268.
7. Зориктуев В.Ц., Никитин Ю.А., Сидоров А.С. Мониторинг и прогнозирование износа режущего инструмента // СТИН. 2007. № 10. С. 31-34.
8. 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. 2010. №5. С. 46-50.
9. Мартинова Л.И., Мартинов Г.М. Практические аспекты реализации модулей открытой системы ЧПУ // Автотракторное электрооборудование. 2002. №3. С. 31-37.
10. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Концепция построения базовой системы числового программного управления мехатронными объектами // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2011. №2. С.21-27.
11. Патент на изобретение №2417140 "Устройство контроля износа и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента для системы ЧПУ станка" от 27.04.2011.
12. Мартинов Г.М., Пушков Р.Л. Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 11. С. 19-24.
13. Мартинова Л.И., Мартинов Г.М. Организация междоменного взаимодействия в распределенных системах ЧПУ. Модели и алгоритмы реализации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №11. С. 50-55.

Григорьев Антон Сергеевич – аспирант кафедры «Компьютерные системы управления» МГТУ «СТАНКИН»  
Тел.: 8 (499) 972-94-40, e-mail: grigorievanton@mail.ru

Grigoriev Anton Sergeevich - Postgraduate student of subdepartment "Computer Control Systems" of MSTU  
"STANKIN". Tel.: +7 (499) 972-94-40, e-mail: grigorievanton@mail.ru