На правах рукописи

СИДОРОВ Александр Сергеевич

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В МЕХАТРОННЫХ СТАНОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Специальность: 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Уфа 2007

Работа выполнена на кафедре автоматизации технологических систем
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель	д-р техн. наук, проф. **Зориктуев Вячеслав Цыденович**
Официальные оппоненты	д-р. техн. наук, проф. **Атрощенко Валерий Владимирович** д-р. техн. наук, проф. **Кретинин Олег Васильевич**
Ведущая организация	ФГУП УАП «Гидравлика», г. Уфа

Защита состоится « 23 » мая 2007 г. в 12 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
Уфимского государственного авиационного технического университета
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан « 19 » апреля 2007 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета В. В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Одна из главных причин снижения точности обработки на металлорежущих станках – изменение размеров режущего инструмента вследствие его износа. Актуальность задачи повышается при обработке труднообрабатываемых материалов, которые широко используются в авиационной промышленности, поскольку для труднообрабатываемых материалов трудоемкость обработки заготовки соизмерима с ресурсом инструмента. Остановка процесса по причине износа инструмента часто означает брак дорогостоящей детали. Контроль состояния и замена инструмента в реальных производственных условиях осуществляется на основе расчетной стойкости. Но в зависимости от качества инструмента вариация стойкости инструмента в одной партии колеблется 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%.

Без информации об интенсивности изнашивания инструмента невозможна оптимизация процессов резания (ПР), процедура выбора оптимальных технологических условий обработки и т.д.

Несмотря на продолжительные исследования, проводимые в указанном направлении во многих научных и производственных коллективах нашей страны и за рубежом, проблема создания системы оперативной диагностики состояния режущего инструмента (РИ) остается нерешенной.

Развитие средств диагностики позволит:

- повысить точность механообработки за счет коррекции траектории инструмента с учетом текущего значения износа;
- вести оптимальное управление по критерию износа инструмента.

Предлагаемое исследование посвящено актуальным вопросам повышения достоверности оценки размерного износа режущего инструмента системой мониторинга, разработке методики прогнозирования параметров, характеризующих состояния режущего инструмента.

Цель работы и задачи исследований

Целью работы является совершенствование методов мониторинга износа режущего инструмента и прогноза диагностических параметров процесса резания. Для достижения указанной цели поставлены следующие основные задачи:

1. Усовершенствовать методику идентификации износа РИ по сигналу виброакустической эмиссии (ВАЭ).
2. Разработать методику самонастройки диагностических моделей износа РИ по электрическим параметрам контакта «инструмент-деталь», по экспериментальным данным, полученным в процессе функционирования системы.
3. Разработать алгоритм прогноза износа РИ использующий априорные и эмпирические данные и учитывающий нелинейность функции износа от времени.

4. Разработать базу данных и базу знаний диагностических параметров процесса резания. Произвести ее наполнение априорными данными.

5. Разработать информационно-измерительную систему для сбора, анализа и хранения диагностических параметров процесса резания.

На защиту выносятся

1. Методика оценки износа режущего инструмента на основе анализа энергии волновых коэффициентов сигнала виброакустической эмиссии.

2. Методика коррекции модели износа РИ по электропроводимости контакта «инструмент-деталь» на основе параметров вейвлет-образа сигнала виброакустической эмиссии.

3. Алгоритм прогнозирования износа и диагностических параметров процесса резания.

4. База данных и база знаний диагностических параметров процесса резания.

5. Функциональная схема системы оперативной диагностики состояния режущего инструмента по косвенным параметрам процесса резания.

Научная новизна

В диссертации получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Установлена функциональная зависимость энергии детализирующих коэффициентов вейвлет-разложения сигнала виброакустической эмиссии от износа режущего инструмента и ее нечувствительность к изменению режимов механической обработки.

2. Предложен способ самонастройки функциональной зависимости относительной электропроводимости от износа режущего инструмента, заключающийся в идентификации момента наступления катастрофического износа РИ по энергетическому спектру детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования сигнала ВАЭ и линейной интерполяции функции $h_3(t)$ в зоне нормального износа.

3. Разработан алгоритм «предикатор-корректор» для прогноза износа РИ в реальном масштабе времени, который заключается в коррекции оценки базовой модели по результатам текущих измерений путем добавления аддитивной составляющей, полученной на основе экстраполяции функции невязки.

4. Разработаны база данных и база знаний диагностических моделей процесса резания. Особенность БД состоит в векторно-матричном представлении входных аргументов.

5. Предложена функциональная схема системы оперативной диагностики состояния режущего инструмента по косвенным параметрам процесса резания, отличающаяся наличием подсистем прогноза, самоорганизации моделей диагностики и идентификации критических состояний РИ.

Практическая значимость работы:

1. Разработан программный комплекс, основанный на методах и алгоритмах обработки сигнала и теории вейвлет-преобразований, позволяющий внедрить в производство предложенные методы мониторинга и прогноза износа РИ.

2. Повышена точность и достоверность оценки износа режущего инструмента путем синтеза методов контроля по электрическим и виброакустическим сигналам, что повышает эффективность и надежность всего мехатронного модуля.

3. Оценка оставшегося ресурса конкретного РИ в реальном времени, позволяет практически реализовать оптимальное и ситуационное управления процессом механообработки.

Методы исследования

При исследовании объекта диагностики использованы методы системного анализа, теории резания, теории автоматического управления, идентификации и планирования эксперимента, математической статистики. Проектирование системы диагностики осуществлялось на основе методов теории надежности, электротехники, метрологии. Анализ экспериментальных данных осуществлялся также с применением теории цифровой обработки сигналов, теории оптимизации, вариационного вычисления, теории информации, методов анализа сцен и распознавания образов, теории принятия решения, теории нейронных сетей. Для решения задач прогноза использованы методы нелинейной динамики.

Апробация работы и публикации

Работа проводилась в рамках проекта РФФИ №06–08–00198 «Теоретические основы проектирования интеллектуальных систем управления мехатронными металлорежущими станками» и научно–исследовательских работ на кафедре «Автоматизированные технологические системы» по созданию интеллектуальных мехатронных станочных систем.

Основные положения работы были представлены в трудах международных научно-технических конференций ВОАС’2000; ВОАС’2002 г. Санкт-Петербург; в сборнике научных трудов (с международным участием) Московского государственного университета приборостроения и информатики, а также научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Уфимского государственного авиационного технического университета, 2002 – 2006г., в том числе в сборнике научных трудов УГАТУ. Опубликованы в 8 работах, в том числе в 2 статьях, из них: 1 – в издании, входящем в список ВАК («Вестник УГАТУ», 2006г.), 1 – в научно-технических изданиях: “Инструмент и технологии”, 2004 №9–10; 6 – в материалах и трудах конференций.

Внедрение результатов работы

Метод диагностики состояния режущего инструмента по виброакустическим параметрам принят к внедрению в ОАО «Салаватнефтемаш», г. Салават.

Структура работы

Диссертационная работа изложена на 177 страницах машинописного текста и включает в себя введение, четыре главы основного материала, заключение; иллюстрации на 66 страницах, библиографический список из 159 наименований на 10 страницах и приложение на 24 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена цель, поставлены задачи исследований, приведены научная новизна, практическая ценность, положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современного состояния методов мониторинга и прогноза износа режущего инструмента (РИ), выделены проблемы и пути их решения.

Показано, что большинство систем мониторинга состояния инструмента построены по следующему принципу: измеряются несколько параметров процесса резания, имеющих корреляционную связь с износом инструмента (такие как, составляющие силы резания, вибрация, сигналы акустической эмиссии, мощность привода главного движения). Измеренные сигналы фильтруются, усиливаются, извлекаются полезные характеристики сигналов (амплитуда, спектр, статистические оценки, коэффициенты волнового спектра), которые поступают на вход нейронной сети.

Показано, что большинство существующих систем мониторинга не удовлетворяют требованиям универсальности, рассчитаны на жестко запрограммированные режимы механической обработки и узкий номенклатурный ряд материалов или обладают недостаточно высокой достоверностью. Выявлена проблема создания базы данных и базы знаний, а также разработки алгоритмов автоматического синтеза моделей на основе экспериментальных данных.

В результате выполненного литературно-патентного анализа отечественных и зарубежных систем мониторинга определены наиболее надежные и простые методы контроля, основанные на анализе сигналов виброакустической эмиссии (ВАЭ) и сигналов электропроводимости контакта «инструмент-деталь» (ЭП КИД). Выявлены проблемы, связанные с повышением чувствительности и достоверности метода контроля на основе сигнала ВАЭ и необходимости адаптации моделей ПР, используемых для мониторинга и диагностики – для методов контроля на основе ЭП КИД.

Выдвинута гипотеза о возможности повышения быстродействия и точности системы мониторинга путем синтеза методов контроля работоспособности режущего инструмента, основанных на измерении виброакустической эмиссии и электропроводимости контакта «инструмент-деталь». На первом шаге анализируется сигнал виброакустической эмиссии, инвариантный к режимам обработки, и выбирается структура модели износа. А на втором шаге производится оценка степени износа РИ на основе анализа сигнала электропроводимости контакта «инструмент-деталь».

Обзор существующих систем прогноза износа РИ показал, что существуют два принципиально различных подхода к задаче прогноза:

- итерационный (прямой) прогноз;

$$x_n = f(x_{n-1}, x_{n-2}, ..., x_{n-D}, c), \quad (1)$$

где x – наблюдаемый параметр; c – константа.

- модельные отображения

$$f(t,c) = c_1\phi_1(t) + ... + c_p\phi_p(t)\ , \qquad (2)$$

где ϕ_k – базисная функция.

В первом случае (1) процесс резания (ПР) рассматривается как стационарный и не учитывает нелинейный характер функциональной зависимости износа инструмента от времени в процессе резания (рисунок 1), характерный для обработки труднообрабатываемых материалов.

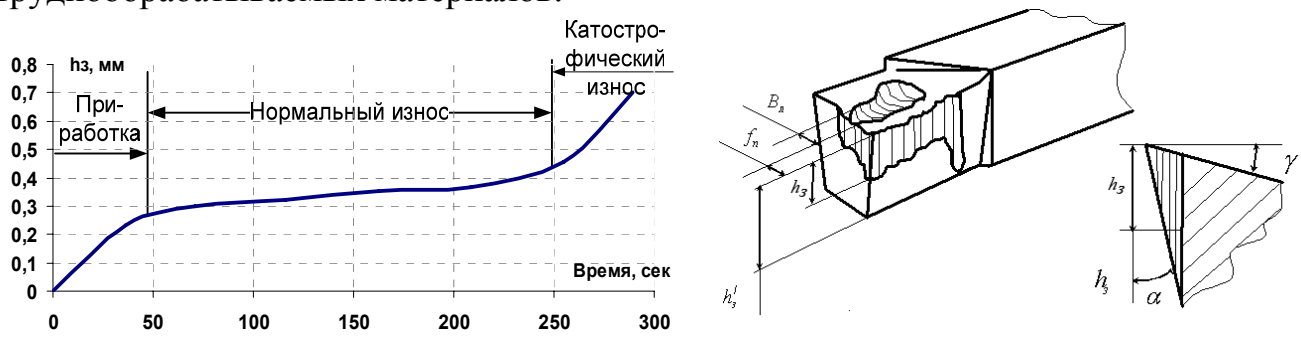


Рисунок 1. Характерная кривая износа режущего инструмента

Во втором (2) методе, основанном на использовании ранее полученной модели, не учитывается переменность факторов внешней среды и переменность внутренних параметров системы. На основании проведенного анализа сформулированы следующие требования к методу прогноза состояния РИ:

- учитывать априорную информацию о модели поведения объекта диагностики через структуру модели, которая хранится в базе данных;
- количественную оценку осуществлять с учетом оперативной информации, полученной от датчиков.

Во второй главе на основе анализа объекта диагностики, методов контроля состояния инструмента и существующих эффективных производственных решений разработана функциональная схема системы оперативной диагностики состояния РИ (рисунок 2). Произведен обоснованный выбор и реализация методов контроля на основе электрических и виброакустических параметров. Разработаны методики понижения размерности и извлечения информативных признаков сигналов, реализованные в программно-математическом обеспечении и апробированные в натурных экспериментах.

Проанализированы особенности физического формирования сигналов термоЭДС, ЭП КИД (рисунок 3) и ВАЭ (рисунок 4), принятые ранее в качестве основных диагностических параметров. Отмечены особенности измерения термоЭДС для резцов с механическим креплением режущей пластины, для которых предложена методика уточненного расчета величины термоЭДС, заключающаяся в компенсации паразитной составляющей в процессе оперативного измерения. Для выбранных методов контроля рассчитан динамический диапазон, быстродействие, точность датчиков и сформулированы требования к АЦП. Доработано устройство измерения ЭП КИД, отличающееся от аналогов: возможностью одновременной регистрации термоЭДС, постоянной и переменной составляющей ЭП КИД; цифровой регистрацией контролируемых параметров; высокой частотой (до 400 кГц) и точностью (± 0,01 мВ).

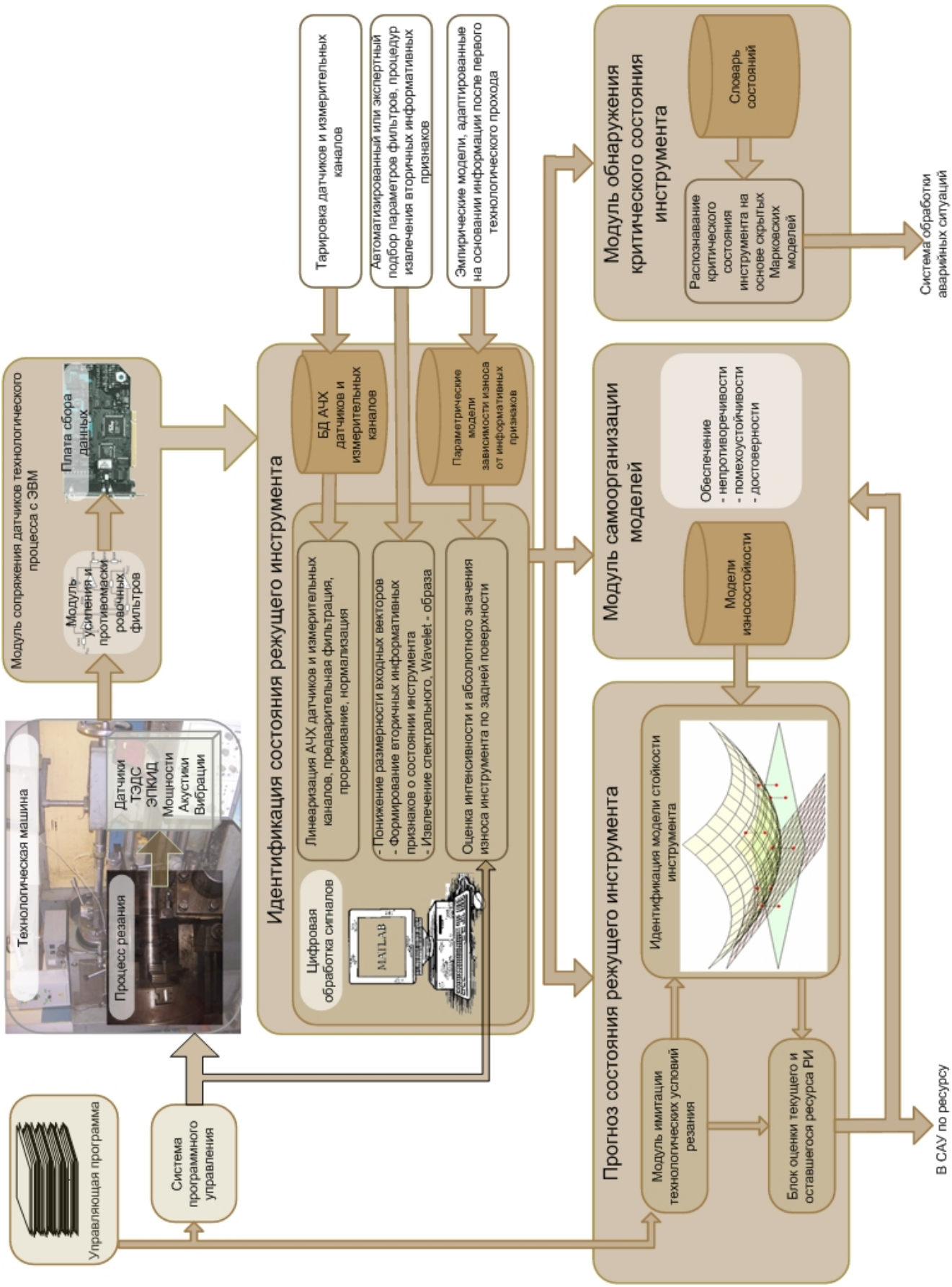


Рисунок 2. Функциональная схема системы оперативной диагностики состояния РИ

Измерение ЭП КИД $G_{КИД}$ (рисунок 3) производится по методу, предложенному в работах профессора Зориктуева, и определяется по следующей формуле:

$$G_{КИД} = \frac{1}{\mathrm{R}_{КИД}} = \frac{I_Э}{\mathrm{U - E}} \qquad (3)$$

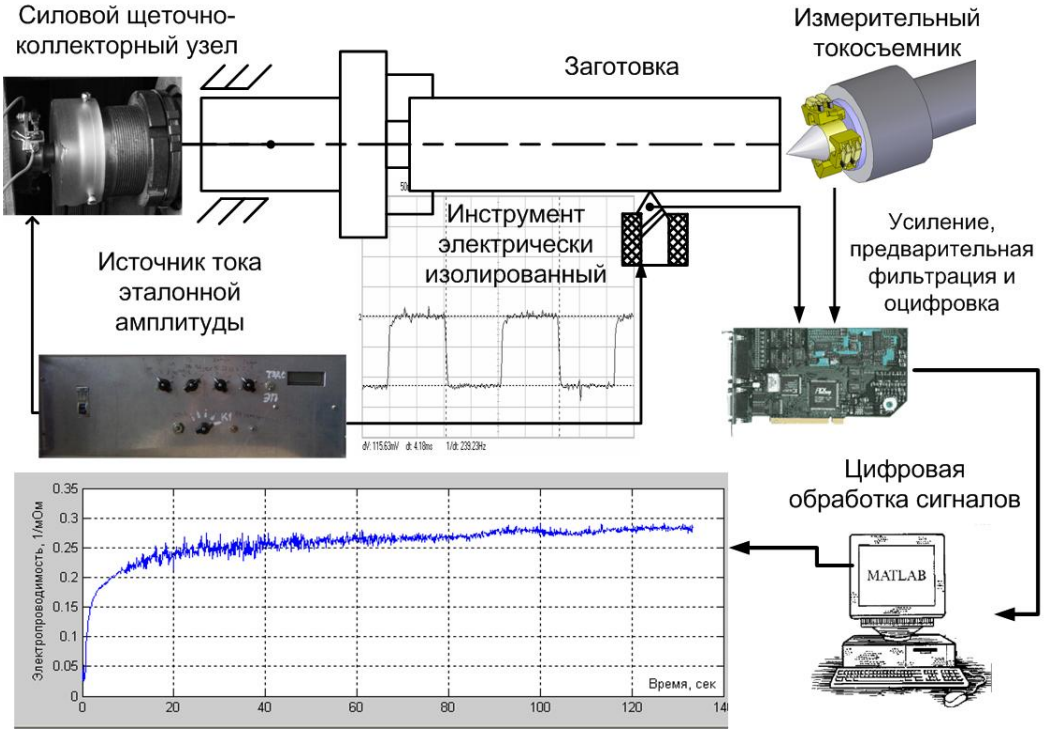


Рисунок 3. Схема измерения ЭП КИД

На контакт «инструмент-деталь» подводится постоянный ток эталонной амплитуды $I_Э$. После задержки времени τ, обусловленного временем переходного процесса в цепи СПИД, производится измерение полного напряжения U, которое складывается из суммы двух составляющих: напряжения индуцируемого пропускаемым током $I_Э R_{КИД}$ и термоЭДС Е. Сопротивление контакта зависит от формы контакта, который изменяется в процессе износа инструмента.

Исследование методов анализа сигнала ВАЭ на основе Фурье и вейвлет-преобразований, теоретически и экспериментально доказана эффективность применения последнего для разрешения проблемы неопределенности частотного и временного разрешения. Предложен метод понижения размерности сигнала на основе вейвлет-преобразований, без снижения его информативности, заключающийся в оценке средней энергии E_j значений вейвлет-коэффициентов детализации j-го уровня (4):

$$E_j = \frac{1}{T_j} \sum_{k=1}^{T_j} d_j^2(k), \qquad (4)$$

где T_j – число коэффициентов в каждой шкале различно, так как временные интервалы волновых коэффициентов изменяются пропорционально j; j – уровень разложения; d_j – коэффициент детализации j-уровня вейвлет-разложения:

$$d_{j-1,k} = (f, \psi_{j-1,k}) = \int_R f(x)\psi_{j-1,k}(x)dx \quad (5)$$

где ψ(x) – анализирующий (материнский) вейвлет.

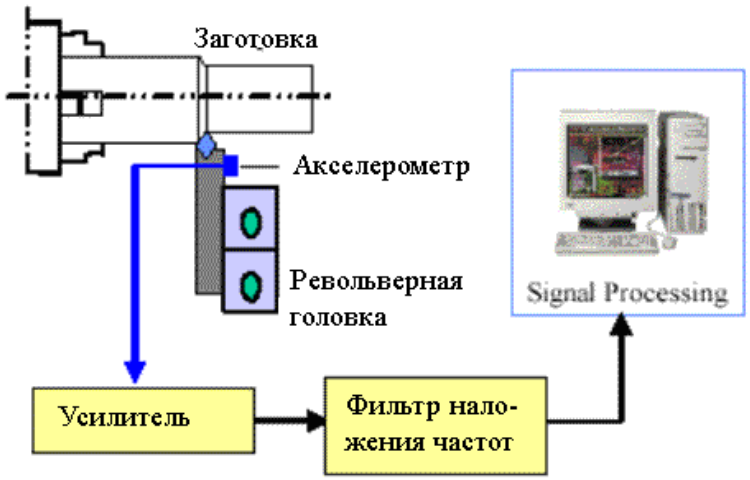
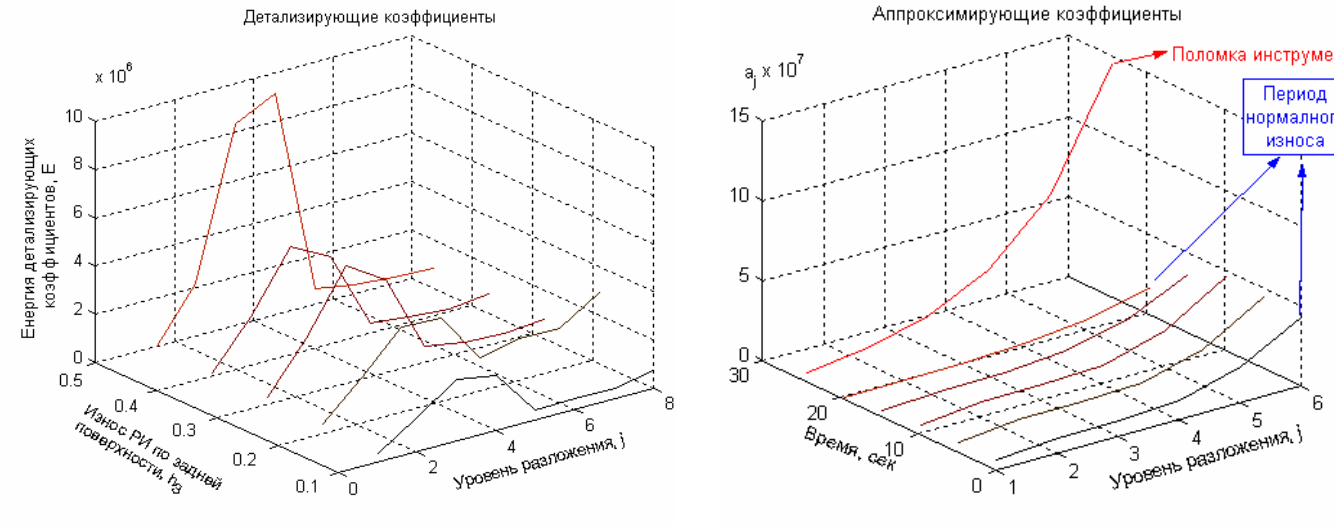


Рисунок 4. Схема измерения сигнала виброакустической эмиссии



а *б*

Рисунок 5. Коэффициенты разложения сигнала ВАЭ в базисе вейвлета Хаара, полученные при продольном точении ЭИ698–ВК8 (V = 40 м/мин; s=0,075 м/об; t = 0,5 мм): *а*– детализирующие; *б* – аппроксимирующие

Установлено, что информативным параметром, характеризующим износ РИ, является дисперсия детализирующих коэффициентов вейвлет-разложения сигнала ВАЭ (рисунок 5, *а*), данный параметр является нечувствительным к изменениям режимов обработки. Для вейвлет-анализа эффективно применение наиболее простого базиса – вейвлета Хаара. Минимальная длительность анализируемой выборки составляет 0,1 с. Идентификация износа РИ осуществляется по значению энергии детализирующих коэффициентов j-го порядка. Для разложения в базисе вейвлета Хаара $3<j<6$.

Энергетический спектр аппроксимирующих коэффициентов является чувствительным к поломкам и прерываниям ПР (рисунок 5, *б*).

В заключение главы приведены технические характеристики оборудования, приборов и устройств измерения, применявшихся в ходе эксперимента. Обоснован выбор материалов для исследований. Дано описание функциональных возможностей программно-математического обеспечения для сбора и анализа экспериментальных данных.

В **третьей главе** установлено, что для распознавания нейронной сетью LVQ (learning vector quantization) двух состояний инструмента, соответствующих острому (h_3 < 0,2 мм) и изношенному (h_3 >0,4 мм), достаточно обучение на минимальном объеме экспериментальных данных (один тестовый проход).

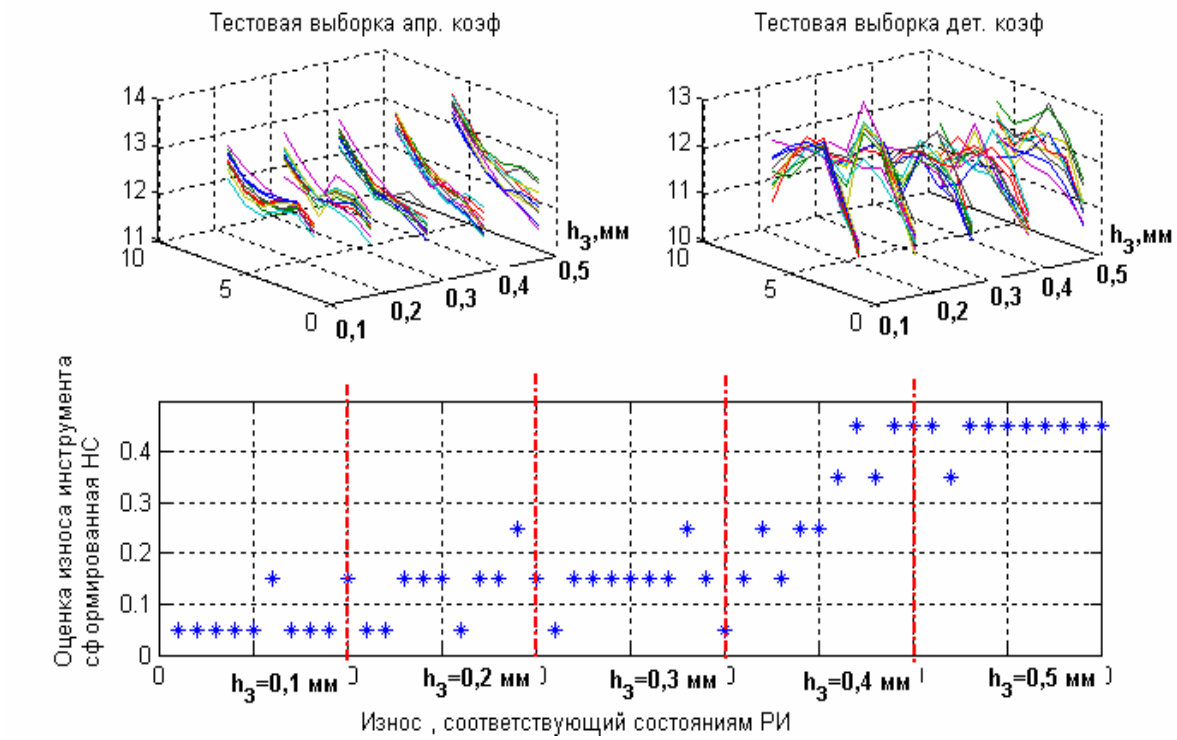


Рисунок 6. Результат распознавания состояния РИ при обработке ЭИ698–ВК6ОМ, НС при V = 37÷48 м/мин, dV/dt > 0, s = 0,9 мм/об обученной при V = 25÷41 м/мин, dV/dt > 0, s = 0,125; V = 37÷48 м/мин, dV/dt < 0, s = 0,125

Результат распознавания инвариантен к изменению режимов обработки в широких пределах.

Для распознавания состояния инструмента с точностью ± 0,1 мм требуется больший объем экспериментальных данных, повышение мощности сети и введение дополнительных входных координат, соответствующих режимам обработки. Однако даже в этом случае достоверность результата распознавания на основе архитектуры не превышает 75%. Причина невысокой эффективности НС при распознавании износа РИ с высокой точностью состоит в том, что различные состояния РИ способны порождать один и тот же наблюдаемый мгновенный энергетический вейвлет-спектр виброакустических колебаний.

С целью повышения точности и достоверности оценки состояния РИ разработан и получил экспериментальное подтверждение (рисунок 6) алгоритм идентификации модели износа РИ, заключающийся в нахождении точки завершения процесса приработки РИ по сигналу ЭП КИД, и износа инструмента $h_{кр}$ по сигналу ВАЭ НС на пробном проходе с последующим расчетом уравнения

линейной функции $h_3 = f(G^*_{Sn})$. Относительная электропроводимость G^*_{Sn} имеет практически линейную зависимость от износа инструмента и практически инвариантна к величине термоЭДС, скорости и глубине резания.

$$G^*_{Sn} = \frac{G_{Sp}}{G_{Sn}}, \qquad (6)$$

где G^*_{Sn} – относительная электропроводимость, определяется из следующего отношения; G_{Sp} – электропроводимость КИД при рабочей подаче; G_{Sn} – ЭП КИД при пониженной подаче s_n=0,07 мм/об.

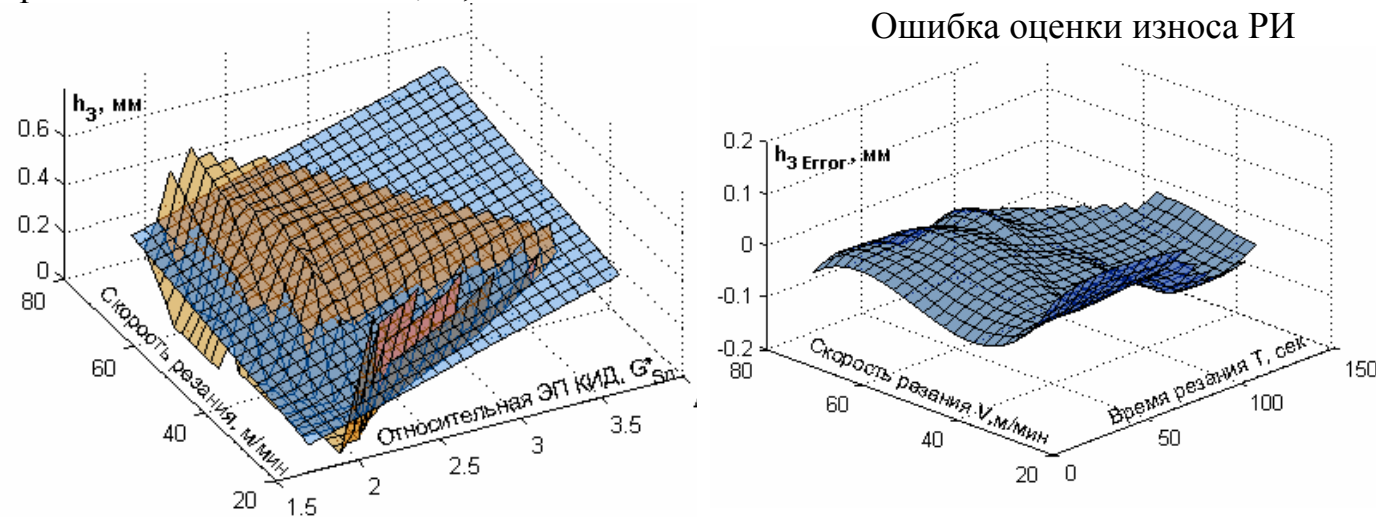


Рисунок 7. Экспериментальная и расчетная поверхности функции $h_3 = f(V,\ G^*_{Sn})$ и функция ошибки $\Delta=f(V,T)$, для ЭИ698 – ВК8

Алгоритм оценки износа на основе полученной модели обеспечил точность распознавания 0,05 мм на участке нормального износа РИ и отличается от аналогов способностью к адаптации и самообучению в процессе механообработки.

Для хранения анализа существующих и вновь полученных моделей, на основе которых выполняется идентификация текущего состояния РИ и прогноз работоспособности и диагностических параметров процесса резания, разработана база данных (БД) и база знаний (БЗ). Разработанная структура базы данных удовлетворяет требованиям иерархичности, гибкости, расширяемости и реализована на базе СУБД, предусматривает следующие поля:

- марку обрабатываемого материала и инструмента;
- выходной параметр (Пр.: E – термоЭДС; G – ЭП КИД);
- входные (варьируемые) параметры, кодируемые символами $x_1, x_2 \ldots x_n$, и интервалы их варьирования (Пр.: $x_1 \rightarrow V$ (30–50 м/мин) скорость резания; $x_2 \rightarrow S$ (0,097–0,39 мм/об) – подача инструмента; $x_3 \rightarrow t$ (0,5–1,5 мм) – глубина резания; $x_4 \rightarrow h_3$(0,1–0,4 мм) – износ инструмента по задней поверхности;
- постоянные известные параметры, не изменяющиеся или изменяющиеся незначительно в процессе обработки с присвоенными им значениями (угол в плане, передний, задний угол);

- вид обработки, характеристики инструмента (резец цельный, с напайными пластинами, с механическим креплением режущей пластины), тип используемого оборудования, особенности обработки (СОТС, без СОТС).

Отличительная особенность БД состоит в векторно-матричном представлении параметров. Таким образом, в качестве выходного параметра может быть использован вектор состояния (например [cD_1, …cD_6, cA_1,…, cA_6] – детализирующих и аппроксимирующих коэффициентов вейвлет-разложения).

Создание БД позволило унифицировать и систематизировать модели ПР из литературных источников. Для организации поиска функциональной зависимости от аргумента, не входящего в описание функции явно, но имеющего однозначную зависимость аргумента, присутствующего в БД; поиска «ближайшего соседа» при отсутствии результата «прямого» запроса, определены отношения структуризации, функциональные, каузальные и семантические. Разработана база процедурных правил вывода (таблица 1).

Таблица 1. Пример процедурных знаний хранимых в базе правил

1	$E = f(V,S,t,hз)$	&	$Q = f(E)$	→	$Q = f(V,S,t,hз)$
2	$E = f(V,S,t,hз)$	&	$E = f(Q)$	→	$E = f(V,S,t,hз)$
3	$G = f(V,S,t,L)$	&	$hz = f(L)$	→	$G = f(V,S,t,hз)$
	…				

Пример:

Рассмотрим продукцию №1 (Таблица 1). ***Если*** *найдена параметрическая зависимость ТЭДС E от скорости резания V, подачи инструмента S, глубины резания t и износа инструмента по задней поверхности* $h_З$ ***И****, найдена тарировочная зависимость, однозначно связывающая температуру с ТЭДС,* ***ТО*** *формируется функциональная зависимость, связывающая температуру РИ со скоростью резания, подачей, глубиной и износом РИ.*

Разработанный алгоритм (рисунок 8, *а*) инициализации работы подсистемы прогноза обеспечивает формирование базой знаний функционала базовых моделей ***Y****,* размерности *N* (рисунок 8).

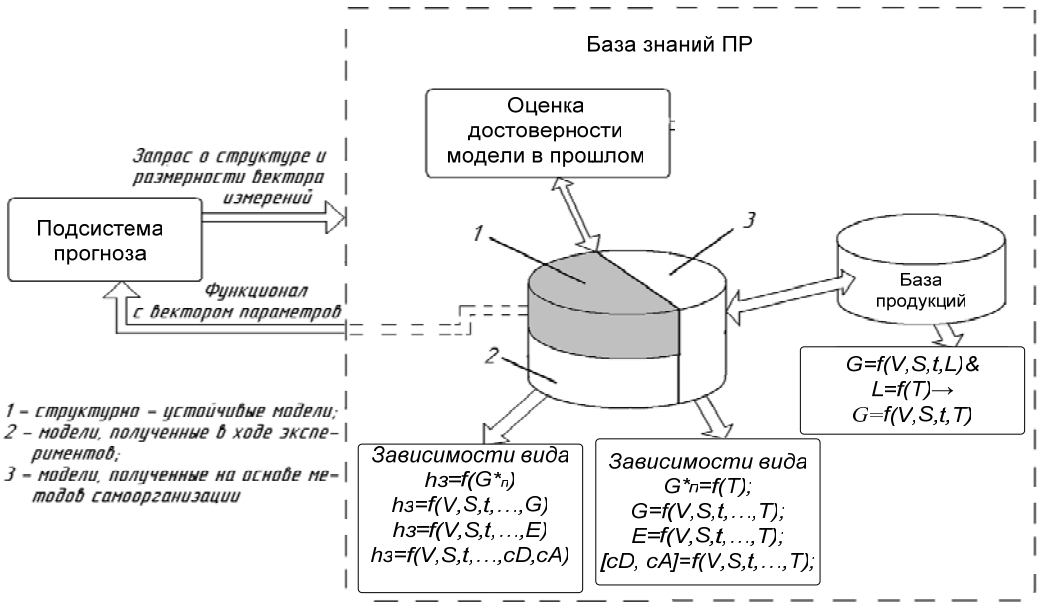


Рисунок 8. Инициализация работы подсистемы прогноза состояния РИ

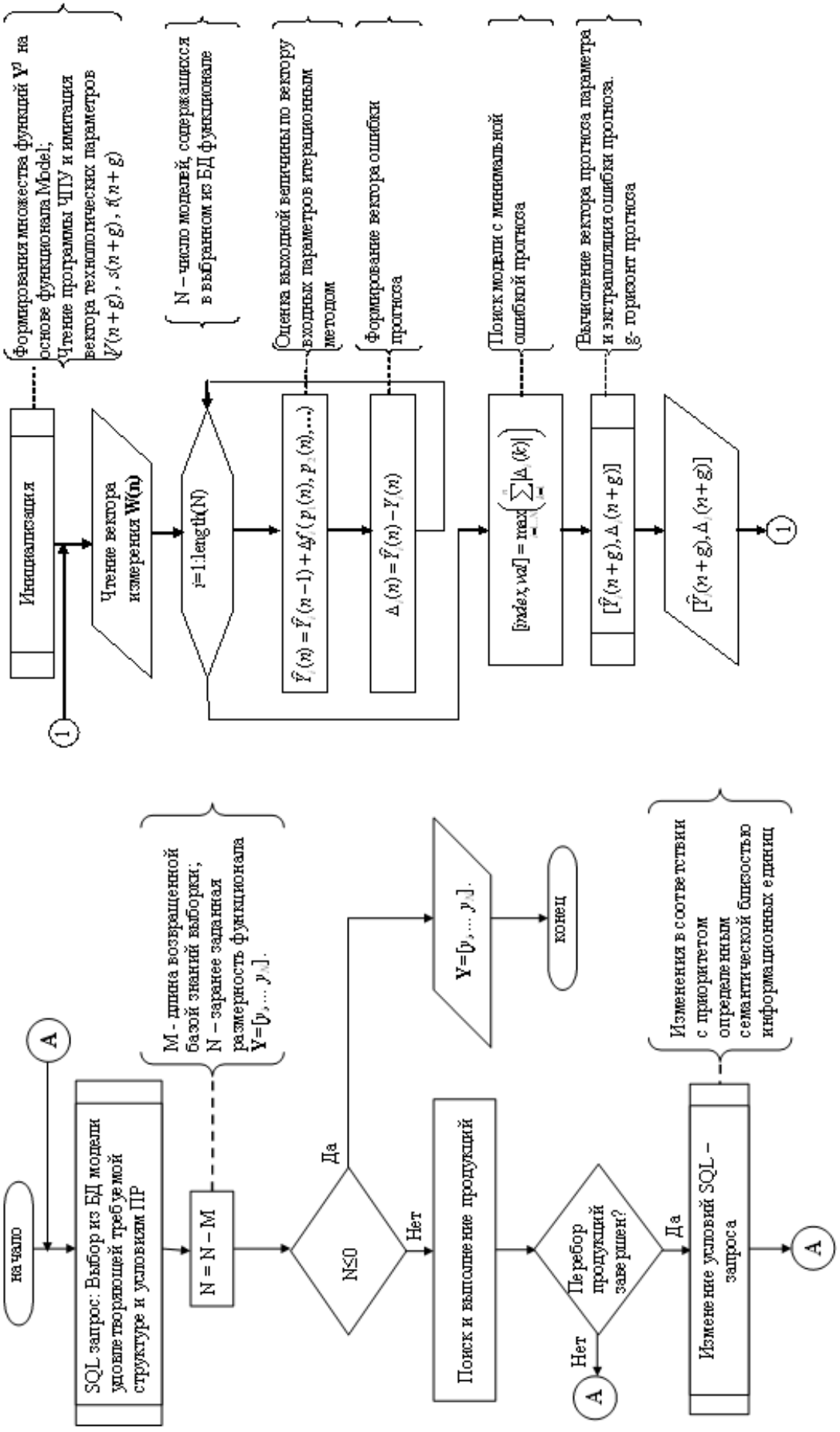


Рисунок 9. Блок-схема алгоритма прогноза: а – инициализация функционала Y; б – выбор оптимальной модели $y \in Y$

В реальном времени, в соответствии с алгоритмом (рисунок 9, *б*) осуществляется выбор наилучшей модели ***y*** из предложенного функционала моделей ***Y.*** Непосредственно сам прогноз параметра ПР выполняется по выбранной модели, назовем ее «базовым предиктором». Затем «подправляют» предсказанные значения с помощью дополнительного модельного отображения – так называемого «корректора», – которое строится по тренировочному ряду путем экстраполяции функции невязки и связывает ошибки прогнозов базового предиктора для упреждения с самим прогнозом. Проверка эффективности и адекватности разработанных алгоритмов была экспериментально подтверждена для материалов ЭИ698 при обработке инструментом ВК8.

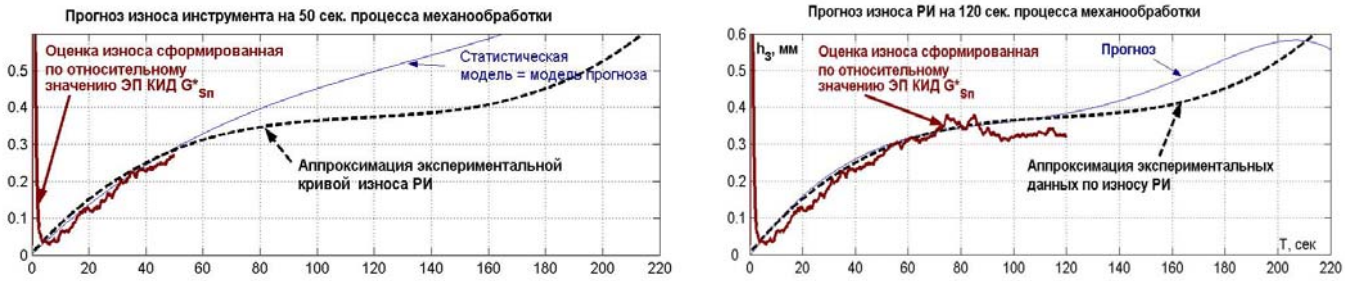


Рисунок 10. Прогноз износа РИ

Статистический анализ результатов эксперимента показал, что для наихудшего случая, когда модель износа РИ отсутствует, точность прогноза оставшегося ресурса после завершения процесса приработки повышается с 66% (1,3 мм) (по статистическим моделям) до 89 % (0,6 мм); точность прогноза наступления критического износа РИ с 74% (65 сек) до 88% (11 сек). В случае если прецедент сочетания технологических параметров для данной пары материала и инструмента имеется в базе данных, точность прогноза возрастает.

Четвертая глава посвящена разработке алгоритмов формирования и добавления новых моделей в БД на основе анализа экспериментальных данных.

Формирование модели по выборке обеспечивается алгоритмами структурно-параметрической идентификации (рисунок 11).

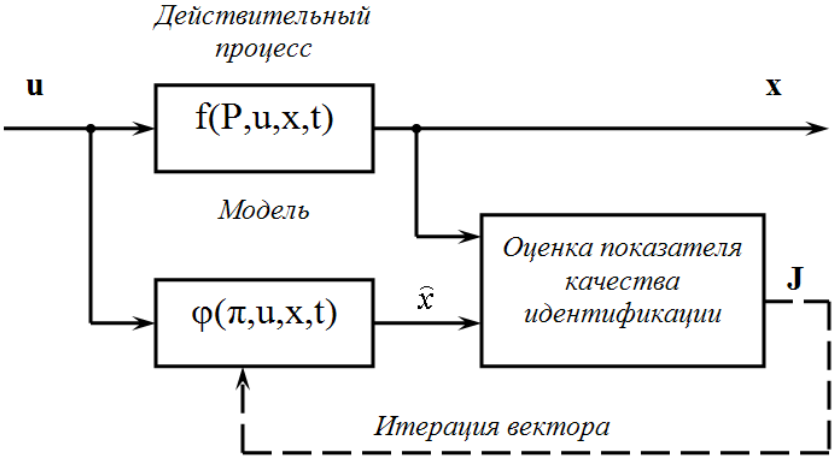


Рисунок 11. Общая схема идентификатора:

u– вектор входных переменных; ***x***– вектор выходных переменных; ***f*** – функция процесс резания; ***P*** – вектор параметров ПР; ***φ*** – модель процесса резания; $\hat{x}$ – оценка вектора **x**; ***J*** – критерий оптимизации; π –вектор оцениваемых параметров.

Базисная функция φ выбирается из функционала Φ (7).

$$\Phi = \left\{ \begin{array}{l} Y_j = C_j + \sum_{i=1}^{N_j} \sum_{m=1}^{\mu_{i,j}} K_{m,i,j} \cdot X_i^m, \mathrm{j} = 1..\mathrm{M} \\ Y_j = e^{C_j} \cdot \prod_{=1}^{N_j} \prod_{m=}^{\mu_{i,j}} \left[X_i^m \right]^{K_{m,i,j}}, \mathrm{j} = 1..\mathrm{M} \\ Y_j = \ln C_j + \sum_{i=1}^{N_j} \sum_{m=1}^{\mu_{i,j}} K_{m,i,j} \cdot \ln(X_i^m), \mathrm{j} = 1..\mathrm{M} \\ y(k) = \sum_{i=0}^{N} \left(\sum_{m_1=1}^{M} \ldots \sum_{m_i=1}^{M} g_i(m_1, \ldots, m_i) x(k-m_1) \ldots x(k-m_i) \right) \end{array} \right\} \quad (7)$$

Критерий оптимизации учитывает точность (минимум дисперсии $\delta_{i,j}$) и простоту аппроксимирующего полинома (минимума вычислительных затрат t)(8):

$$J = \left[\frac{\left| \delta_{i,j} \right|}{\max\left(\delta_{1..n,1..n} \right)} \right]^{\alpha} \cdot \left[\frac{t}{\max\left(t_{1..n,1..n} \right)} \right]^{\beta}, \quad (8)$$

где $\alpha, \beta -$ коэффициенты значимости критерия точности и быстродействия.

В случае неудовлетворительных результатов аппроксимации вводится аддитивная составляющая, полученная путем аппроксимации функции невязки. В качестве базисных функций используются «импульсы» разной ширины и в разных положениях на временной оси. Оценка значимости коэффициентов и адекватность полученных моделей проверяются на удовлетворение критерию Стьюдента и критерию Фишера. После завершения эксперимента, полученные данные анализируются и сохраняются в виде аналитически записанных моделей.

Частные модели, построенные на основе текущих измерений, подвергаются анализу с целью обобщения накопленного экспериментального материала. При удовлетворении экспериментальных моделей критериям самоорганизации создается новая структурно устойчивая модель, которая может быть использована для формирования прогноза состояния РИ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Усовершенствована методика идентификации износа РИ по сигналу виброакустической эмиссии путем оценки энергии спектра детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования. Усовершенствование методики повысило инвариантность оценки износа к режимам механообработки.

2. Разработана методика коррекции модели износа РИ по относительной электропроводимости контакта «инструмент-деталь». Заключающаяся в идентификации момента наступления катастрофического износа РИ по энергетическому спектру детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования сигнала ВАЭ, линейной интерполяции функции $h_3(t)$ в зоне нормального износа и коррекции модели на основе данной информации. Синтез методов контроля на основе электрических и виброакустических сигналов позволил повысить точность и обеспечить универсальность оценки текущего износа РИ.

3. Разработан алгоритм прогнозирования диагностических параметров процесса резания и износа РИ, на основе имеющихся априорных и эмпирических данных, который учитывает нелинейность функции износа РИ во времени и вариацию стойкости инструментов в партии. Алгоритм заключается в коррекции оценки базовой модели, по результатам текущих измерений, путем добавления аддитивной составляющей полученной на основе экстраполяции функции невязки, что позволяет: снизить затраты на инструментальный материал; произвести оценку оставшегося ресурса инструмента, перед началом обработки новой заготовки; ввести оптимальное управление по состоянию режущего инструмента.

4. Разработана база данных диагностических параметров процесса резания, особенность которой состоит в векторно-матричном представлении входных аргументов, что позволило унифицировать и систематизировать модели ПР из литературных источников, включая частотно-временные и многомерные модели. Разработана база знаний о диагностических моделях процесса резания, что позволило организовать сложные алгоритмы поиска: поиск функциональной зависимости от аргумента, не входящего в описание функции явно, но присутствующего в БД неявно; поиск «ближайшего соседа».

5. Разработана цифровая информационно-измерительная система, которая позволяет сохранить все измеренные диагностические параметры процесса резания, произвести анализ (фильтрацию, децимацию, спектральный и вейвлет-анализ) и т.д., и воспроизвести сигналы, полученные от датчиков, что устраняет необходимость в повторных реальных экспериментах. Созданный в среде программирования виртуальный процесс полностью эмитирует условия протекания физического процесса со всеми его особенностями (нестационарностью, стохастичностью и т.д.).

Полученные результаты в совокупности совершенствуют методы мониторинга и прогноза износа РИ и решают важную научно-практическую задачу наблюдаемости и прогнозируемости износа РИ в процессе резания, что в итоге открывает возможности управления процессом механообработки по состояния режущего инструмента.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК:

1. Автоматизированный синтез диагностических моделей процесса резания металла / В. Ц. Зориктуев, А. С. Сидоров // Вестник УГАТУ : науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2006. Т. 8, №1 (17). С.78–82.

В других изданиях:

2. Методы идентификации состояния режущего инструмента в реальном времени / А. С. Сидоров // IX Международная студенческая олимпиада по автоматическому управлению (Baltic Olympyad). – С.-Петербург, 2002. С.121–124. (Статья на англ.яз.)
3. Оперативная диагностика состояния режущего инструмента по электрическим параметрам / А. С. Сидоров // Проблемы современного энерго-машиностроения : тр. всерос. молодежн. науч.-техн. конф. Уфа : УГАТУ, 2002. С. 79.
4. Проектирование лабораторного стенда оперативной диагностики инструмента в процессе механообработки / В. Ц. Зориктуев, А. С. Сидоров // Инструмент и технологии, 2004. № 9–10. С. 17-21
5. Проектирование подсистемы сбора данных в системе оперативной диагностики состояния инструмента / А. С. Сидоров, А. А. Шафиков // Проблемы современного машиностроения : тр. всерос. молодежн. науч.–техн. конф. Уфа : УГАТУ, 2004. С. 47.
6. Проектирование подсистемы обработки данных в системах оперативной диагностики состояния инструмента / А. С. Сидоров, А. А. Шафиков // Проблемы современного машиностроения : тр. всерос. молодежн. науч.–техн. конф. Уфа : УГАТУ, 2004. С.48.
7. Подходы к решению задачи прогноза в системе оперативной диагностики состояния режущего инструмента / А. С. Сидоров // Мехатроника. Робототехника. Автоматизация : сб. научн. труд. / Под общей редакцией М. М. Аршанского. М.: МГУПИ, 2006. Вып.1. С. 158-164.
8. Экспериментальная оценка информативности диагностических признаков износа режущего инструмента / А. С. Сидоров, А. А. Шафиков // Мехатроника. Робототехника. Автоматизация : сб. научн. тр. / Под общей редакцией М. М. Аршанского. М.: МГУПИ, 2006. Вып.1. С.152-157.

Диссертант А. С. Сидоров

СИДОРОВ Александр Сергеевич

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В МЕХАТРОННЫХ СТАНОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 29.03.2007 Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 172

ГОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12