

В. Ц. ЗОРИКТУЕВ, А. С. СИДОРОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА

Описаны методы идентификации состояния РИ по косвенным параметрам. Предложены алгоритмы построения моделей процесса резания металлов в реальном времени на основе экспериментальных данных. Полученные модели используются системой оперативной диагностики в задачах мониторинга и прогноза состояния режущего инструмента

Эффективное управление и разработка систем управления мехатронными системами базируются на моделях, описывающих поведение управляемых узлов, механизмов и системы управления. Построение корректных и адекватных моделей требует значительных ресурсов времени и средств. Применение ЭВМ и современных методов анализа динамических систем способно значительно сократить затраты, а иногда и полностью автоматизировать процесс моделирования даже сложных динамических нелинейных нестационарных стохастических систем с существенно зашумленными входными параметрами. Применение теории самоорганизации и теория динамического хаоса позволяют оценить горизонт прогноза и гарантировать достоверность и адекватность. Полученные модели могут адаптироваться в процессе функционирования системы в реальном времени и найти применение в задачах управления и прогноза состояния мехатронного модуля.

1. ЗАДАЧА ОРГАНИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Первая трудность, с которой сталкивается разработчик диагностических систем – оптимальный выбор полного информационного базиса параметров, коррелированных с состоянием диагностируемого процесса (объекта), обеспечивающий минимум затрат на введение дополнительных измерительных каналов и одновременно информационную достаточность. Для простых систем данную задачу возможно решить классическими методами физического моделирования. Однако для сложных систем требуется привлечение теории самоорганизации моделей [3]. Переменные делятся на группы взаимозаменяемых коррелированных между собой факторов и для среднего представителя каждой группы находится частная полиномиальная модель по комбинаторному алгоритму МГУА [3]. Факторный и объективный системный анализы позволяют выделить небольшое множество существенных выходных переменных. На основе алгоритма пошагового действия признается ведущими только небольшое число переменных, остальные исключаются из рассмотрения.

Таким образом, информационный базис может изменяться в процессе функционирования системы и диагностическая ценность параметра зависит от условий и режимов эксплуатации системы. На примере

процесса резания было установлено [1], что для труднообрабатываемых жаропрочных сплавов при точении со значительной глубиной резания (черновая и получистовая обработка) наиболее информативной является величина электропроводности (ЭП) контакта «инструмент – деталь» (постоянная и переменная составляющие) (рис. 1).

На контакт «инструмент – деталь» (КИД) подводится постоянный ток эталонной амплитуды I_3 . После задержки времени τ , обусловленного временем переходного процесса в цепи «заготовка-инструмент», производится измерение полного напряжения U , которое складывается из суммы двух составляющих: напряжения индуцируемого пропускаемым током $I_3 R_{КИД}$ и термо-ЭДС E .

Сопротивление контакта зависит от формы контакта, который изменяется в процессе износа инструмента. Электропроводность КИД определяется по следующей формуле:

$$G_{КИД} = \frac{1}{R_{КИД}} = \frac{I_3}{U - E}$$

Для определения величины термо-ЭДС анализируется амплитуда сигнала, так как износ режущего инструмента изменяет геометрию инструмента и косвенно влияет на величину ТЭДС (рис. 2).

Сложность оценки износа режущего инструмента (РИ) по величине термо-ЭДС вызвана двумя основными проблемами.

- «провал» температур при резании на низких скоростях и/или при обработке сталей малой прочности и с высокой теплопроводностью, вызванный преобладанием количества тепла, уходящего через заднюю контактную поверхность в деталь и резец, над количеством тепла, которое образуется вследствие процесса трения на этой площадке;

- влияние паразитной ТЭДС.

Особенности данных явлений необходимо учитывать в моделях. Данный проблем лишен метод оценки износа по величине ЭП КИД. При измерении величины электропроводности контакта «инструмент-деталь» анализируется как амплитуда, так и структура переменной составляющей. В данном случае помимо линейной зависимости установившегося значения ЭП КИД от износа инструмента, его переменная составляющая несет информацию о критических состояниях инструмента: сколах, выкрашивании и поломках (рис. 3).

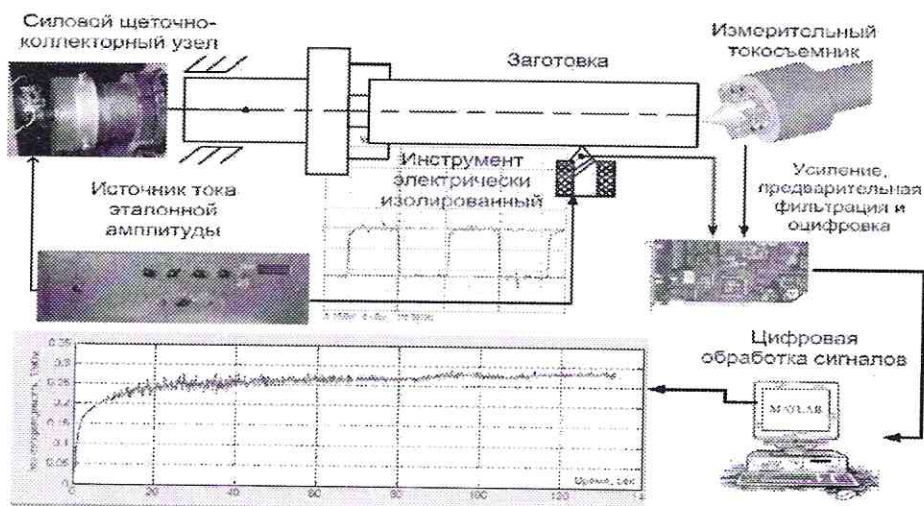
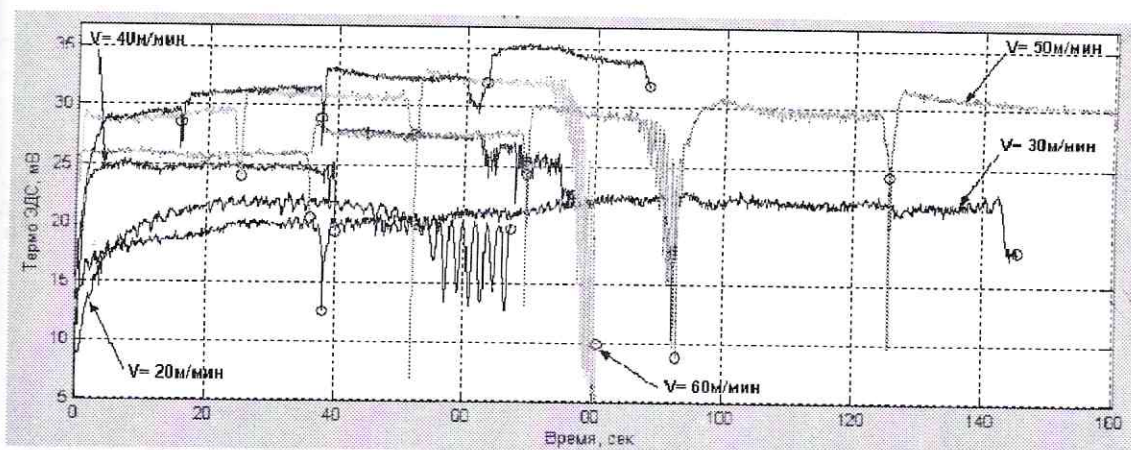
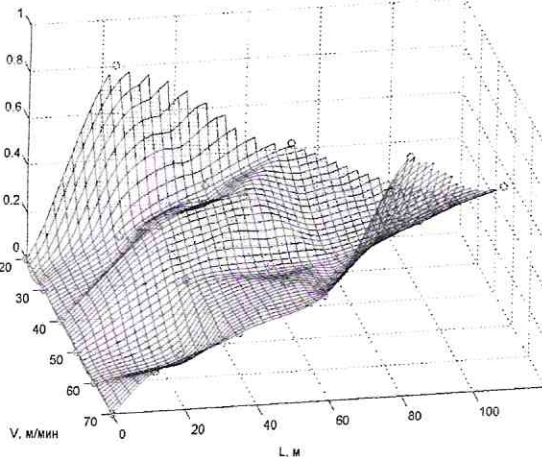
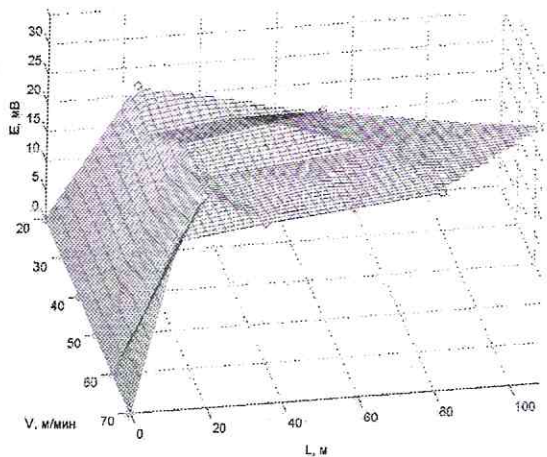


Рис. 1. Схема измерения ЭП КИД и осциллограмма изменения электропроводности в зависимости от пути резания при продольном точении сплава ЭИ698 инструментом марки ВК8, $V = 60$ м/мин; $s = 0.075$ мм/об; $t = 0.5$ мм со следующей геометрией инструмента: $\gamma = \lambda = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\phi = \phi_1 = 45^\circ$, $r = 0.5$ мм.

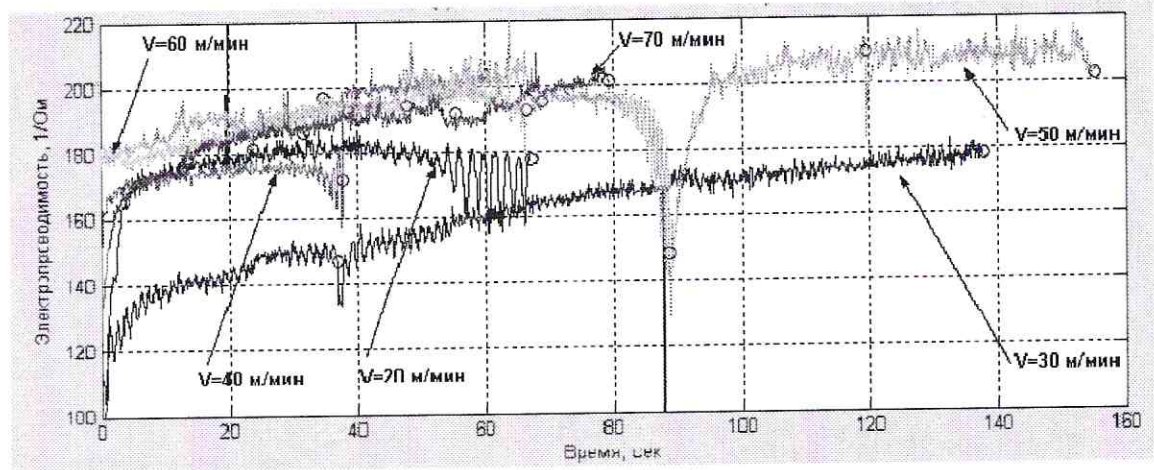


а

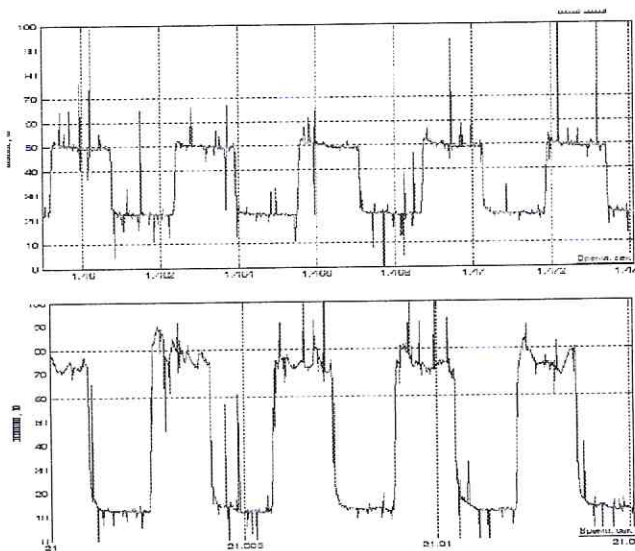


б

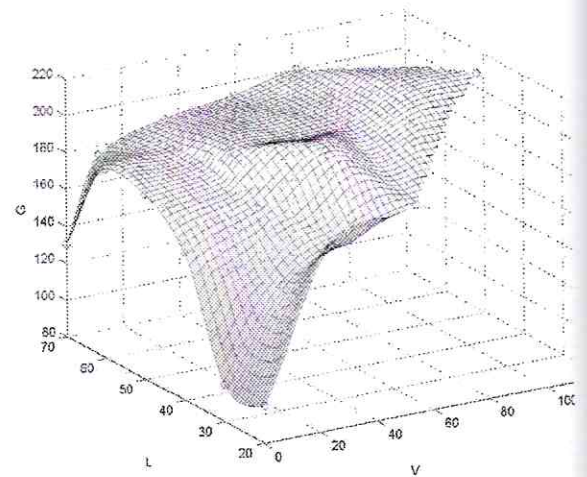
Рис. 2. а – осциллограмма сигнала термо-ЭДС при продольном точении сплава ЭИ698 инструментом марки ВК8, $t = 0.5$ мм., $s = 0.1$ мм/об; б – частные параметрические модели, полученные на основе сигнала термо-ЭДС



а



б



в

Рис. 3. а – осциллограмма сигнала ЭП КИД при прерывистом продольном точении сплава ЭИ698 инструментом марки ВК8, $t = 0.5 \text{ мм.}$, $s = 0.075 \text{ мм/об}$; б – изменения в структуре сигнала напряжения снимаемого с КИД в процессе износа; в – пример частной модели вида $G = f(V, S, t, L)$ полученные на основе сигнала ЭП КИД

При нестационарном точении целесообразно применение метода диагностики на основе виброакустических колебаний, как менее точного, но более инвариантного к режимам обработки.

На основе измерений производится понижение размерности входного сигнала (фильтрация, децимация, извлечение Фурье и/или вейвлет спектра) и формирование частных моделей.

При обработке сигнала с датчика вибрации, производится его спектральный анализ по данным таблицы 1.

Таблица 1

Данные спектрального анализа

Частота колебаний	Источник доминирующей частоты спектра колебаний
70 – 90 Гц	Заготовка – подсистема стола станка
395 – 405 Гц	Шпиндель – режущий инструмент
10 – 12 кГц	Державка в двух различных гармониках колебаний
15 – 16 кГц	Режущая пластина

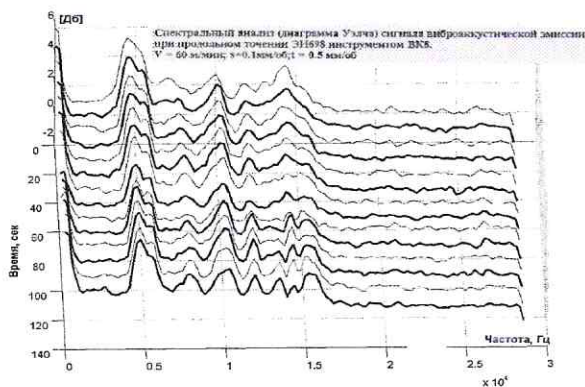
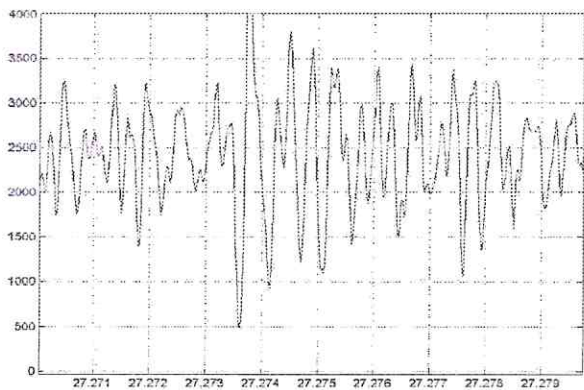


Рис. 4. Исходный сигнал вибро-акустической эмиссии и его спектр при продольном точечном сплава ЭИ698 резцом ВК8

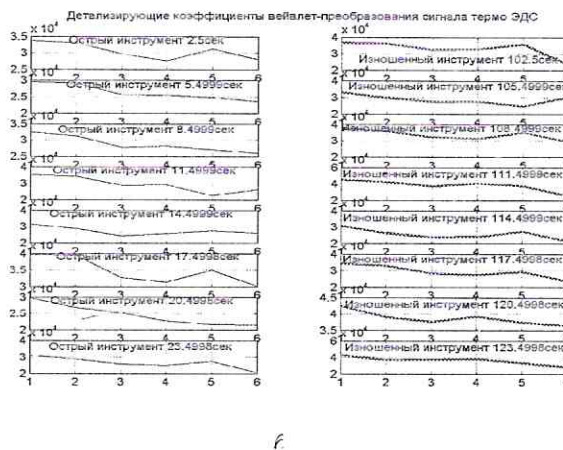
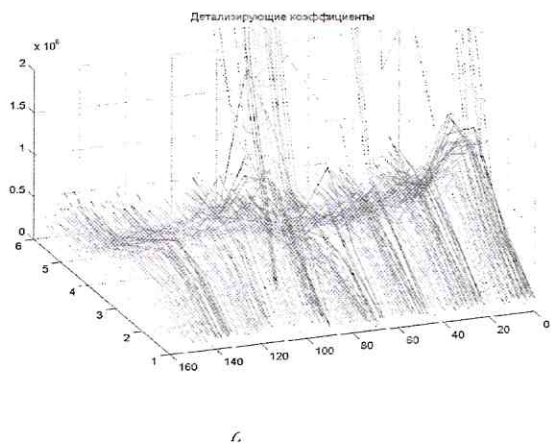


Рис. 5. а – вейвлет-спектр сигнала вибрации. б – алфавит признаков для острого и изношенно-го инструмента составленный для обучения НС

По отношению мощности спектра на характерных частотах оценивают износ РИ (Рис. 4).

Для устранения артефактов и расширения области применения методов диагностики на основании вибро-акустической эмиссии применяется вейвлет-анализ сигнала (рис. 5). Обучение системы распознавания состояния РИ производится на основе построенного алфавита признаков путем вычисления мощности вейвлет-спектра.

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

где T_j – число коэффициентов в каждой шкале; j – уровень разложения; d_j – детализирующий волновой коэффициент j -уровня разложения.

Таким образом анализируется не только частотный состав сигнала, но и «тонкая» структура сигнала.

Механизм идентификации критического износа инструмента реализован при помощи многослойной

нейронной сети. На входы сети поступают значения энергии детализирующих вейвлет-коэффициентов, число входов сети зависит от уровня вейвлет-разложения. Выходами нейронной сети являются значения вероятностей состояний РИ, число выходов сети определяется количеством выделяемых состояний РИ.

2. ХРАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

В результате выполненных исследований разработана структура базы данных (БД) для хранения моделей, организации удобного и быстрого доступа к хранимым данным. Систематизированы имеющиеся в открытых источниках данные по моделям резания труднообрабатываемых материалов и занесены в БД.

В основу БД положена реляционная модель, реализованная в Microsoft SQL (имеется аналог в Access). Доступ к БД осуществляется посредством драйвера ODBC (или напрямую через ADO). Структура БД предусматривает следующие поля:

- марка обрабатываемого материала и инструмента;

- выходной параметр (Пр.: Е – термо - ЭДС);
 - входные (варьируемые) параметры, кодируемые символами x_1, x_2, \dots, 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 (углы в плане, передний, задний угол);

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

Модель может быть сохранена в БД в аналитическом виде или в табличном представлении (матрицы прецедентов).

Выборка из базы данных, удовлетворяющая запросу передается в подсистему прогноза в виде структуры Model.

Пример 1. Модели вида $Pz=f(V,s,t,h_3)$, $G=f(V,s,t,h_3)$ для пары ВТ9ВК8, где Pz – сила резания, G – электропроводимость контакта «инструмент – деталь»:

```
Model(1).function =
'k1+x1*k2+p2*k3+p3*k4+p4*k5+p1*p2*k6+p
1*p3*k7+
p1*p4*k8+p2*p3*k9+p2*p4*k10+p3*p4*k
11'
Model(1).koeficient = [6.421 0.013
0.0658 0.294 0.117 -0.0048 -0.0014 -
0.0049 -0.0017 -0.027 -0.017]
Model(2).function =
'k1+p1*k2+p2*k3+p3*k4+p4*k5+p1*p2*k6+p
1*p3*k7+
p1*p4*k8+p2*p3*k9+p2*p4*k10+p3*p4*k
11'
Model(2).koeficient = [6.232 -
0.0077 0.447 0.505 0.152 -0.0002 -
0.0167 -0.0020 -0.0164 -0.0558
-0.0163]
```

3. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОДУЦИРУЮЩЕЙ НОВЫЕ МОДЕЛИ И ЗНАНИЯ

Задача отнесения частной реализации процесса к одной из имеющихся в БД моделей прецедентов хорошо известна и имеет множество решений методами теории распознавания образов. Однако для устойчивости алгоритмов распознавания требуется база эталонных моделей (прецедентов), предъявляемое к которым требование – структурная устойчивость. Так как процесс резания не является линейным и стационарным, для формирования новых моделей требуется введение комплекса статистических и эвристических внутренних и внешних критериев устойчивости [3] (рис. 6).

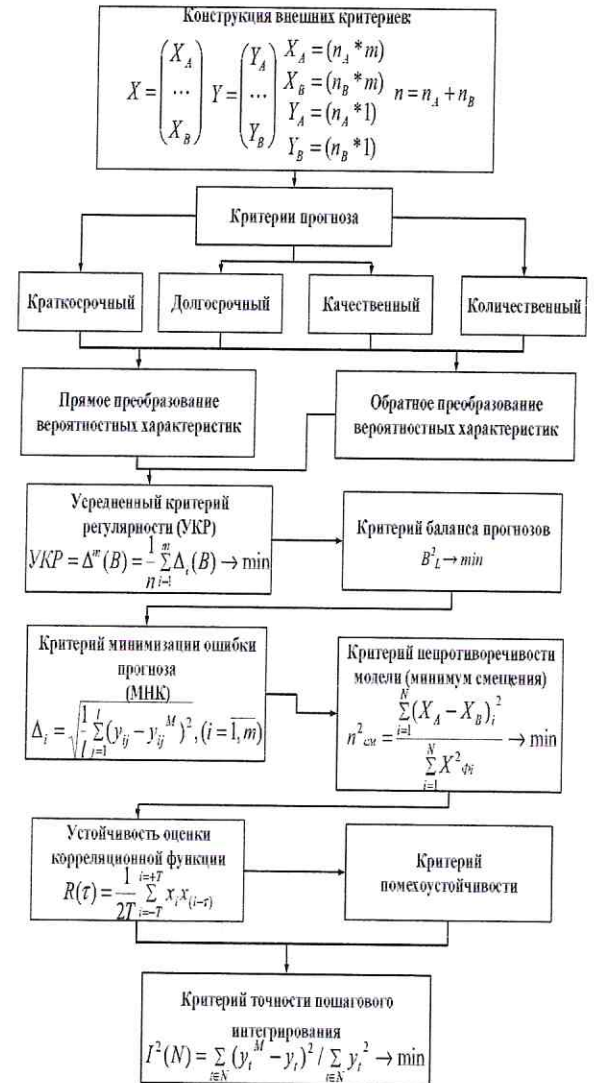


Рис. 6. Критерии участвующие в алгоритмах самоорганизации моделей

ВЫВОДЫ

На основе выполненных исследований решены вопросы организации измерения, обработки сигналов и идентификации состояния режущего инструмента. Разработана структура базы данных, содержащая модели резания. Определен алгоритм самоорганизации прогнозирующих моделей состояния РИ на основе экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зориктуев, В. Ц. Электропроводимость контакта «инструмент-деталь» – физический и информационный параметр в станочных системах / В. Ц. Зориктуев, И. С. Хузин. М.: Машиностроение, 1998. 176 с.
2. Безручко, Б. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. М.: Радио и связь, 1987. 298 с.
3. Ивахненко, А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский. М.: Радио и связь, 1987, 65 с.