

А. Г. Деревянченко, д-р техн. наук, О. В. Фомина, Одесса, Украина

## **ПОДДЕРЖАНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Розглянуто концепції створення інтелектуальних систем для підтримки і відновлення працездатності різальних інструментів. Викладено підхід до використання засобів штучного інтелекту при створенні цих систем. Розглянуто структуру інформаційного забезпечення системи підтримки працездатності різучих інструментів. Розглянуто структуру одного з розроблених системних модулів – нечіткого нейромережевого класифікатора станів інструментів.*

*Rассмотрены концепции создания интеллектуальных систем для поддержания и восстановления работоспособности режущих инструментов. Изложен подход к использованию средств искусственного интеллекта при создании этих систем. Рассмотрена структура информационного обеспечения системы поддержания работоспособности режущих инструментов. Рассмотрена структура одного из разработанных системных модулей – нечеткого нейросетевого классификатора состояний инструментов.*

*The conceptions to maintenance and renewal of cutting tools capacity with the intellectual systems using are considered. An approach to artificial intelligence elements using at this systems creation is discussed. The structure of the informative providing of availability maintenance system of cutting tools is investigated. The structure of neuro – fuzzy classifier of tools states as one of the developed system modules is considered.*

Стремительное увеличение информационных потоков, которые перерабатываются в современных интегрированных производства уровня СИМ, обуславливает необходимость автоматизации и интеллектуализации соответствующего оборудования – станков с ЧПУ и ГПМ [1]. Одной из важных задач в этой области является задача сокращения расходов на дорогостоящие режущие инструменты (РИ). Неполное использование рабочего ресурса РИ, их непредвиденные отказы приводят к необходимости создания значительных запасов инструментов. Следовательно, возникает потребность разработки интеллектуальных систем - системы поддержания работоспособности (СПР) РИ в процессе эксплуатации и системы восстановления работоспособности (СВР) РИ после его отказа и снятия со станка.

Целью статьи является изложение подходов к созданию взаимодействующих интеллектуальных систем поддержания и восстановления работоспособности РИ.

Необходимость создания систем поддержания работоспособности ответственных элементов и подсистем ГПМ (в том числе – СПР РИ) отмечалась в ряде работ [2, 3 и др.]. В качестве основных направлений создания СПР РИ в современных условиях целесообразно отметить следующие: 1. разработка структуры СПР РИ, основанной на комплексном использовании различных средств искусственного интеллекта; 2. анализ связи работоспособности РИ с состоянием системы элементов его режущей части (РЧ); 3. разработка подхода к повышению глубины диагностирования состояний РЧ инструментов; 4. разработка новых классификаторов состояний РЧ, обеспечивающих повышение качества распознавания РИ; 5. повышение количества распознаваемых классов состояний РЧ на основе распознавания состояний элементов ее структуры; 6. формирование моделей элементов и процессов СПР РИ, и др.

В ОНПУ разработана концепция повышения качества СПР РИ, основанная на комплексном использовании в ее составе взаимодействующих средств искусственного интеллекта. К числу создаваемых средств и элементов СПР относятся: система технического зрения (СТЗ) для контроля состояний РИ; система интеллектуальной обработки информации от датчиков прямого и косвенного контроля, которые формируют соответствующие образы режущей части РИ; нейросетевой нечеткий классификатор и двухуровневый гибридный алгоритм, который работает с использованием системы новых признаков состояний РИ; система поддержки принятия решения о степени работоспособности РИ; экспертная система; соответствующие базы данных; база знаний, которая содержит решающие правила для классификации состояний РИ, модели отказов и модели прогнозирования остаточного ресурса РИ и др.

Структура одного из вариантов СПР РИ представлена на рис. 1.

Эта структура сформирована для некоторого условного ГПМ, в структуре которого имеется инструментальный магазин (ИМ) с набором РИ ( $РИ_{\Sigma} = (РИ_1, РИ_2, \dots, РИ_i, \dots, РИ_k)$ ), перемещение которых в револьверную головку или шпиндель станка производится системой смены инструментов (ССИ).

В структуре ГПМ выделены система числового программного управления (СЧПУ), система приводов станка (СПС) – привода главного движения (ПГД) и привода подач (ПП). Эти приводы обеспечивают реализацию определенной схемы резания, обусловленной типом станка и его кинематикой.

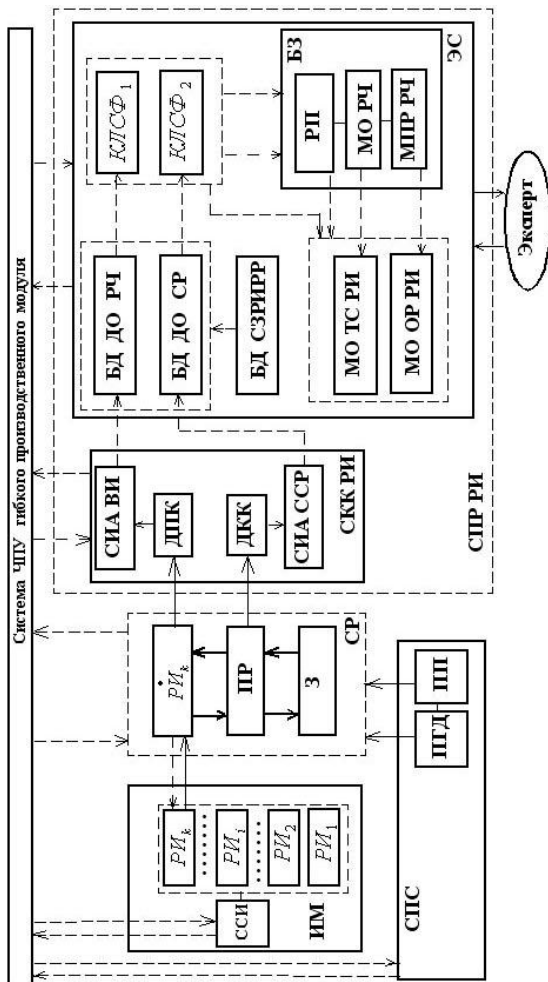


Рисунок 1 – Структура интеллектуальной системы поддержания работоспособности РИ

По команде от СЧПУ с использованием ССИ некоторый РИ (здесь –  $РИ_k$ ) устанавливается в револьверную головку или шпиндель станка (его новое положение в структуре ГПМ обозначаем как  $\dot{РИ}_k$ ). После включения приводов  $\dot{РИ}_k$  вступает в контакт с заготовкой (3) и реализуется процесс резания (ПР), т.е. создается система резания (СР).

Состояние процесса резания, в значительной степени обусловленное состоянием изношенного инструмента, непрерывно или периодически контролируется датчиком косвенного контроля (ДКК) и распознается системой интеллектуального анализа сигнала (сигналов) системы резания (СИА ССР).

В период прерывания обработки при смене заготовки РИ по команде от СЧПУ перемещается в контрольную позицию, где состояние его рабочей части (РЧ) анализируется датчиком (датчиками) прямого контроля (ДПК). В качестве ДПК может быть использована СТЗ, формирующая изображения (первичные образы зоны износа РЧ) и передающая их для последующей обработки в систему интеллектуального анализа видеоинформации (СИА ВИ). Система может быть снабжена блоком привода для ориентации телекамеры относительно инструмента.

Прямая и косвенная оценка состояния РИ в комплексе выполняется системой комбинированного контроля – СКК (при необходимости задействуется один или оба варианта контроля).

Данные от СИА ВА поступают в базу данных динамических образов режущей части РИ (БД ДО РЧ), где накапливаются и сортируются. Эта база является подструктурой экспертной системы.

Данные от СИА ССР поступают в базу данных динамических образов – сигналов системы резания (БД ДО СР). Она является подструктурой экспертной системы (ЭС), создается и обучается экспертом.

Параллельно поступает информация о типе ГПМ, типе заготовки, форме и размерах детали, ее материале, требованиям к точности и качеству обработки, данные о РИ (геометрии РЧ, инструментальном материале и др.), данные о режимах резания. Она хранится в соответствующей БД (БД СЗРИРР).

Распознавание состояний РЧ и СР выполняется соответствующими классификаторами ( $КЛСФ_1, КЛСФ_2$ ). Структура нечеткого нейросетевого классификатора состояний режущей части РИ ( $КЛСФ_1$ ), реализующего гибридный двухуровневый алгоритм распознавания, приведена на рис. 2. На его вход подается вектор признаков, формируемых на основе обработки изображений РЧ, формируемых СТЗ. Для распознавания состояний РИ могут строиться нейронные сети (НС) различной сложности: однослойные, двухслойные, с различным количеством нейронов. С ростом сложности структуры сети растет время ее обучения. Для обучения НС с учетом особенностей решаемой задачи принят алгоритм обратного распространения ошибки распознавания [4], позволяющий заранее задавать требуемую точность классификации. Для формирования сети выбран набор средств NEURAL NETWORKS TOOLBOX в системе MATLAB.

Для обучения НС эксперту необходимо сформировать обучающую выборку  $U_{\Sigma\Omega}^L$ , включающую наборы векторов по каждому классу состояний

РИ ( $\Omega_I^L, \Omega_{II}^L, \dots, \Omega_N^L$ ), где N – число классов состояний РИ (рис. 2). В состав  $U_{\Sigma\Omega}^L$  входят признаки формы зоны износа. Классификатор работает по следующему гибриднему двухуровневому алгоритму. На первом уровне экспертом подается на вход сети обучающая выборка  $U_{\Sigma\Omega}^L$ . На выходе НС формируются результат классификации - номер класса (y) по каждому состоянию (вектору признаков), а для всей выборки  $U_{\Sigma\Omega}^L$  - совокупность результатов ( $y_{\Sigma}^L$ ).

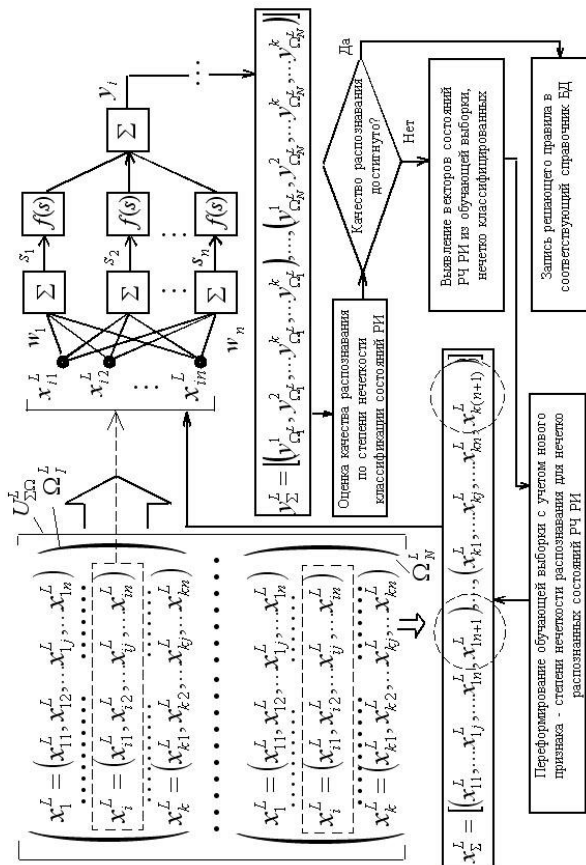


Рисунок 2 – Структура нечеткого нейросетевого классификатора состояний РЧ ( $КЛС\Phi$ ), реализующего гибридный двухуровневый алгоритм распознавания

Определяются параметры качества – процент или вероятность правильного распознавания (ППР, ВПР), значения ошибок первого и второго рода. Если заданное качество не получено, выполняется поиск векторов состояний, неверно классифицированных. Дальше начальная обучающая выборка переформируется с добавлением нового признака – степени нечеткости классификации ( $x_{(n+1)}^L$ ), т.е. создается новая обучающая

выборку  $\tilde{U}_{\Sigma\Omega}^L$ . Затем повторяется процесс обучения НС (реализуется второй уровень гибридного алгоритма). После получения требуемого качества выполняется запись результатов в соответствующую базу знаний (БЗ). Она содержит также модели отказа режущей части РИ (МО РЧ), идентифицируемые в начальный период работы РИ и модели прогнозирования остаточного ресурса режущей части (МПР РЧ).

Вся названная информация поступает в модули (программные комплексы) оценки текущего состояния (МО ТС РИ), прогнозирования остаточного ресурса (МО ОР РИ) инструмента. Принятые решения о стратегии дальнейшей эксплуатации РИ, соответствующих управляющих воздействиях на технологическую систему ГПМ передаются в СЧПУ.

Перейдем к рассмотрению концепции создания СВР РИ. До настоящего времени одним из основных методов восстановления режущей части отказавших РИ для целого ряда инструментов является их перетачивание. Однако при этом имеют место значительные затраты времени на восстановление и значительные потери дорогостоящего инструментального материала, что вызвано необходимостью гарантированного удаления следов износа или разрушения и формирования новой, восстановленной РЧ.

Указанные проблемы обусловлены отсутствием достоверной информации о предотказном состоянии РЧ или ее состоянии после отказа в форме высокоточной 3D (или 2D) – модели. Она может быть построена с использованием интеллектуальной СВР РИ, включающей заточной станок с ЧПУ, систему датчиков для точного позиционирования восстанавливаемого РИ. Очевидна необходимость информационного взаимодействия СВР и СПР РИ. Здесь появляется возможность формирования комбинированной модели, которая совмещает 3D – модель отказавшего РИ, и согласованную с ней (“вписанную”) 3D – модель нового РИ. Вписывание выполняется таким образом, чтобы поверхности образа нового РИ были отделены от поверхностей изношенного (отказавшего) РИ на минимальные расстояния (припуски), которые необходимы и достаточны для снятия при восстановлении дефектных слоев инструментального материала.

Соответствующая информации (по каждой из рабочих поверхностей РЧ) передается системе ЧПУ заточного станка.

Для принятия решения о целесообразности восстановления инструмента (альтернатива – замена РИ новым аналогом) будет формироваться модель остаточной зоны режущей части и проводиться ее конечноэлементный анализ (с учетом нагружений, обусловленных параметрами системы резания). Восстановление РЧ должно обеспечить полное удаление изношенных поверхностей и локальных дефектов. Поэтому на стадии диагностирования возникает потребность выполнения поиска и локализации дефектов (элементов структурно – параметрической модели режущей части отказавшего РИ). Диагностическая стратегия локализации дефектов основывается в первую очередь на определении их пространственного положения относительно базовых функциональных элементов РЧ. Разрабатываются основы выполнения итерационных расчетов прочности РЧ и ее элементов (для постепенно изнашиваемого и периодически контролируемого РИ). Такие расчеты проводятся с использованием метода конечных элементов на основе 2D- и 3D - моделей РЧ, которые периодически формируются по результатам контроля СТЗ.

В заключение отметим, что исследования разработанных к настоящему времени модулей СПР и СВР РИ показали их хорошую работоспособность, что свидетельствует, по мнению авторов, о правомочности изложенных подходов и перспективности проводимых работ.

**Список использованных источников:** 1. *Грабченко А.И., Верезуб М.В., Соболев О.В.* Три рівні генеративних інтегрованих технологій// Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць. - Вип. 1 –Харків: ХДПУ, 2003. - С. 34-42. 2. *Старков В.К.* Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989.-296 с. 3. *Соломенцев Ю.М., Сосонкин В.Л.* Управление гибкими производственными системами. – М.: Машиностроение, 1988. -352 с. 4. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика -М.: Мир, 1992. –186 с.

*Поступила в редколлегию 25.06.2010*