Изюмов Андрей Игоревич. Контроль и управление состоянием инструмента многооперационного станка в системе его интеллектуального мониторинга: диссертация ... кандидата Технических наук: 05.02.07 / Изюмов Андрей Игоревич;[Место защиты: ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет], 2017.- 166 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

(ДГТУ)

На правах рукописи

ИЗЮМОВ АНДРЕИ ИГОРЕВИЧ

**КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ИНСТРУМЕНТА  
МНОГООПЕРАЦИОННОГО СТАНКА В СИСТЕМЕ ЕГО  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА**

05.02.07: Технология и оборудование механической и физико-технической

обработки.

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук профессор Андрей Кириллович Тугенгольд

Ростов-на-Дону - 2017

ВВЕДЕНИЕ 6

Глава 1. Аналитический обзор разработок по проблеме состояния режущего инструмента на многооперационных станках 16

1. [Актуальность проблемы диагностирования состояния режущего ин­струмента на станках с ЧПУ 16](#bookmark1)
2. [Проблема надежности режущего инструмента в условиях автомати­зированного производства 19](#bookmark2)
3. [Методы диагностирования и оценки состояния режущего инстру­мента на многооперационных станках 24](#bookmark3)
4. [Анализ зарубежных исследований в области диагностики со­стояния режущего инструмента 25](#bookmark4)
5. Анализ отечественных исследований в области диагностики

состояния режущего инструмента 29

1. Подходы к формированию систем мониторинга и диагностики со­

стояния режущего инструмента. Методы интеллектуального анализа данных 33

1. [Подход к мониторингу состояния инструмента с использова­нием адаптивной нейро-нечеткой системы вывода «ANFIS» 36](#bookmark6)
2. Онлайн-диагностика состояния режущего инструмента при

помощи использования мэл-частотных кепстральных коэффициен­тов 40

1. Диагностирование износа режущих инструментов и прогнози­

рование их остаточной стойкости в реальном времени обработки на станках с ЧПУ 44

1. Способы диагностирования состояния инструмента на станочных системах при работе в условиях автоматизированного производства.. .47
2. Разработка алгоритма управления процессом резания с помо­

щью автоматизированной оценки состояния инструмента 49

* 1. [Выводы по главе. Постановка цели и задач работы 51](#bookmark9)

**2**

Глава 2. Принципы построения интеллектуального информационно­управляющего модуля диагностики состояния инструмента многооперацион­ного станка 54

1. [Подход к управлению состоянием режущего инструмента 54](#bookmark10)
2. [Системная архитектура модуля e-MindMachine 58](#bookmark11)
3. [Узел «База данных - инструмент» 60](#bookmark12)
4. [Узел «Система знаний наблюдения и управления» 60](#bookmark13)
   1. Принципы функционирования блока «Инструмент» модуля e-Mind

Machine многооперационного станка 62

* + 1. [Структура блока «Инструмент» 64](#bookmark15)
    2. [Функции узлов блока «Инструмент» 65](#bookmark16)
       1. [Регистрирующий узел 65](#bookmark17)
       2. Узел наблюдений и управления 67
       3. Узел мониторинга состояния инструментов 71
       4. Узел управления диагностическими устройствами.. ..72
       5. [Узел адаптации и специальных режимов резания 73](#bookmark20)
       6. [Информационный узел 74](#bookmark21)
  1. Методы оценки параметров нечетких границ стойкости режущего

инструмента 74

* + 1. [Оценка параметров нечеткой границы на основе статистиче­ской обработки данных 75](#bookmark23)
    2. [Оценка параметров нечеткой границы на базе ускоренных ис­пытаний 77](#bookmark24)
    3. [Оценка параметров нечеткой границы на основе использова­ния методологии искусственного интеллекта 78](#bookmark25)
    4. Оценка параметров нечеткой границы при помощи метода

контрольных карт 79

* 1. [Выводы по главе 86](#bookmark27)

Глава 3. Экспериментальное исследование эффективности предложенного подхода на базе принципов функционирования блока «Инструмент» 88

1. [Постановка целей и задач экспериментального исследования 88](#bookmark28)
2. Описание экспериментального стенда, выбор материала заготовки и

режущего инструмента 90

1. [Описание экспериментального стенда 90](#bookmark30)
2. [Выбор режущего инструмента и материала заготовки 91](#bookmark31)
3. Метод экспериментальной оценки параметров нечеткой границы на

основе статистической обработки данных 92

1. Метод экспериментальной оценки параметров нечеткой границы на

базе ускоренных испытаний 97

1. [Метод оценки параметров нечеткой границы на основе использова­ния методологии искусственного интеллекта 99](#bookmark35)
2. Способ экспериментальной оценки параметров нечеткой границы

при помощи метода контрольных карт 103

1. [Разработка компьютерной модели экспериментальной оценки пара­метров нечеткой границы 106](#bookmark38)
2. [Выводы по главе 111](#bookmark39)

[Глава 4. Разработка системы идентификации состояния режущего инстру­мента на основе методов искусственного интеллекта 114](#bookmark40)

1. [Разработка системы мониторинга состояния инструмента 114](#bookmark41)
2. [Извлечение векторов свойств 115](#bookmark42)
3. Вычисление спектральной плотности мощности (функция

плотности спектра мощности) 116

1. [Вычисление энергии сигнала в окнах мел-фильтра 117](#bookmark44)
2. [Вычисление кепстральных коэффициентов сигнала 119](#bookmark46)
3. [Оценка радиального износа режущего инструмента 121](#bookmark47)
4. [Интерфейс системы мониторинга состояния РИ 125](#bookmark59)
5. База данных системы мониторинга состояния РИ 129
6. Разработка экспертной системы управления состоянием РИ 130
7. [Выводы по разделу 133](#bookmark50)

[ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ 135](#bookmark51)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 139](#bookmark52)

ПРИЛОЖЕНИЕ А 148

ПРИЛОЖЕНИЕ Б 151

ПРИЛОЖЕНИЕ В 155

ПРИЛОЖЕНИЕ Г 165

ПРИЛОЖЕНИЕ Д 166

При эксплуатации станков остаются актуальными вопросы повышения надежности, производительности, точности работы, повышения качества из­готовления деталей, а также уровня автоматизации. Все эти факторы в той или иной степени зависят от состояния режущего инструмента (РИ) на станке в процессе обработки. При использовании гибких производственных систем (ГПС) вопрос диагностики состояния инструмента становится одним из важ­нейших, поскольку в условиях автоматизированного машиностроения, как правило, не производится непосредственного наблюдения операторами за состоянием РИ. Особое значение это имеет при эксплуатации многоопераци­онных станков, содержащих до 150 инструментов в одном магазине.

Проблеме состояния режущего инструмента на станке в условиях ав­томатизированного промышленного производства были посвящены труды таких ученых, как: Григорьев С.Н., Гурин В.Д., Синопальников В.А., Гречишников В.А., Решетов Д.Н., Проников А.С., Рыжкин А.А., Заковорот- ный В.Л., Кудинов Н.В., Балашкин Б.С., Пуш В.Э., Соломенцев Ю.М. и др. Основное внимание в этих работах уделялось проблемам точности работы, стойкости и надежности режущего инструмента.

Общеизвестно, что точность обработки является важнейшей характе­ристикой любого технологического оборудования, например, металлорежу­щего станка с ЧПУ. Под точностью обработки понимают степень соответст­вия параметров изготовленной детали к их теоретическим номинальным зна­чениям. Как известно, повышение точности изготовления деталей увеличива­ет срок службы машин и оборудования. Они не могут нормально функцио­нировать при недостаточной точности изготовления его составляющих час­тей в связи с возникающими в процессе работы динамическими нагрузками, которые вызывают ускоренный износ оборудования и его дальнейшее раз­рушение.

Причины возникновения погрешностей обработки на металлорежущих станках связаны с неточностью, деформациями и износом станков, приспо­соблений и инструментов, а также непосредственно с деформациями обраба­тываемых на станках заготовок под действием усилий резания, нагрева, по­грешности в процессе измерения и др.

В настоящее время информационные технологии активно развиваются и находят широкое применение в самых различных сферах и отраслях. Ни одна область знаний не обходится без применения современных методов пе­редачи, хранения и обработки информации. В связи с массовым развитием информационных технологий наиболее актуальными становятся такие науч­ные направления, как интеллектуальное управление и мехатронные системы. Одним из характерных представителей современных мехатронных техноло­гических объектов автоматизированного производства являются многоопе­рационные станки с ЧПУ или обрабатывающие центры.

Для станков с ЧПУ, выполняющих обработку в автоматическом режи­ме, значительно возрастают требования к качеству инструмента как парамет­ра, определяющего точность обработки. Недопустимо недостаточно тща­тельно относиться к проблеме точности обработки в условиях компьютери­зированного производства, построенного по принципу «безлюдной работы».

Проблеме повышения надежности станков посвятили свои труды уче­ные Проников А.С. [1], Решетов Д.Н. [2,3], Фадеев В.З. [3], Иванов А.С. [3], Рыжкин А.А. [4,5], , Маталин А.А. [6] и др.

Поиском путей повышения точности работы металлорежущих станков занимались Пуш В.Э. [7,8], Пигерт Р. [8], Сосонкин В.Л. [8], Ратмиров В.А. [9, 10], Тугенгольд А.К. [11] и др.

Вопросы динамики станков нашли отражение в работах Кудинова В.А. [12], Вейца В.Л. [13], Заковоротного В.Л. [14, 15], Мурашкина Л.С. [16] и др.

Проблемой использования и применения средств информационных тех­нологий в станкостроении занимались такие ученые, как Григорьев С.Н. [17], Гурин В.Д. [17, 18], Бржозовский Б.М. [19, 20] и др.

Ряд данных проблем остается чрезвычайно актуален, а поиск путей их решения - востребован в настоящее время. Основная масса опубликованных в последний период научных трудов направлена на решение проблем контроля состояния инструмента, находящегося в инструментальном магазине станка, не принимающего участия в процессе обработки онлайн.

Один из перспективных путей повышения качества обработки заклю­чается в создании и применении интеллектуальных систем управления тех­нологическим оборудованием, обеспечивающих изготовление деталей с учё­том технических характеристик и состояния станка, режущего инструмента, заготовки и информационно-измерительной подсистемы. Производственные системы должны быть оснащены интеллектуальными модулями, в целях по­вышения качества выполнения обработки, повышения эффективности и на­дежности производственных процессов. В области диагностики и контроля процесса резания такие системы также будут иметь наиболее высокий уро­вень исполнения качества технологического процесса.

**Целью диссертационной работы является** повышение надежности обработки на многооперационных станках в компьютеризированном произ­водстве за счет оценки и управления состоянием инструмента.

**Для достижения цели сформулированы следующие задачи:**

1. разработка структуры и алгоритма функционирования блока «Инст­румент» интеллектуального управляющего модуля станка;
2. разработка модели системы диагностирования состояния инстру­мента и прогнозирования его остаточной стойкости в режиме он­лайн в составе блока «Инструмент» интеллектуального управляю­щего модуля;
3. практическая реализация разработанной системы; проведение ста­ночных испытаний;
4. оценка значений нечеткой пограничной полосы стойкости режущего инструмента для дальнейшего использования при решении задачи управления его состоянием;
5. реализация структуры и алгоритмов функционирования системы идентификации состояния режущего инструмента;
6. формирование базы данных системы мониторинга состояния инст­румента.

**Объектом исследования являются** многооперационные обрабаты­вающие центры с ЧПУ и автоматизированной системой смены инструментов.

**Предметом исследования является** контроль и управление состояни­ем режущего инструмента станка на основе использования возможностей мониторинга состояния на базе методов искусственного интеллекта.

**Научная новизна работы** заключается в создании структуры, принци­пов и алгоритмов функционирования блока «Инструмент» интеллектуально­го управляющего модуля e-Mind Machine, позволяющего автоматически управлять состоянием режущих инструментов многооперационного станка. Найдены условия и принципы анализа состояний инструмента в процессах работы многооперационных станков с автоматической системой замены РИ, и управления этим состоянием для обеспечения работоспособного функцио­нирования. Отличительной особенностью является то, что для оценки со­стояния инструмента введены концептуальные понятия нечеткой границы и пограничных полос размерного износа и общей стойкости режущего инстру­мента на базе представлений теории нечетких знаний. Введение этих понятий связано с необходимостью адаптации режимов резания и принятия решений в зависимости от складывающейся ситуации по состоянию инструмента и его влиянию на точность обработки детали. Ключевым аспектом и оригинально­стью подхода является возможность определения значения остаточной стой-

**9**

кости инструмента, а также прогнозирование времени его отказа. В отличие от известных подходов, данный способ обусловлен использованием в составе модуля системы интеллектуального мониторинга состояния инструмента. Система диагностики реализована на базе представленного в диссертации решения по организации и управлению состоянием многооперационных станков на базе модуля e-Mind Machine (e-MM) на основе концептуальной разработки д.т.н., профессора Тугенгольда А.К.

Полученные научные результаты подтверждают новизну диссертаци­онной работы в следующих пунктах:

1. Принципиальным отличием разработанного метода контроля и управления состоянием инструмента является то, что метод реали­зован на базе интеллектуального информационно-управляющего модуля. Данный модуль обеспечивает информационную поддержку знаний о себе конкретного станка, в т.ч. знаний о процессе обработ­ки, инструменте, заготовке, общем состоянии станка. Модуль осна­щен блоком информационного обмена между оператором УЧПУ, сервисной службой, а также службой контроля верхнего уровня. Данный метод контроля и управления состоянием инструмента по­зволяет учитывать специфические особенности каждого отдельно взятого обрабатывающего центра, а также влияние этих особенно­стей на процесс обработки. Таким образом, создается возможность повышения точности обработки деталей на производстве.
2. На основе технологий искусственного интеллекта, в т.ч. разработан­ной и описанной базы данных системы мониторинга состояния ин­струмента осуществляется поиск различных закономерностей, как функциональных, так и логических, в накопленных станком данных. Введено концептуальное понятие условной границы стойкости ин­струмента на некотором интервале времени / пути / объема удален­ного материала при резании до начала катастрофического износа.

Разработана методика оценки гарантирующего значения в нечеткой границе стойкости инструмента. Данная оценка выполняется по предельным значениям скорости резания, подачи и др. параметров, характерных для технологического перехода, выполняемого иссле­дуемым режущим инструментом.

1. Сформирована база правил нечеткого прогнозирования износостой­кости режущего инструмента на основе нейро-нечеткой сети. В ка­честве входных переменных выбраны относительные значения ско­рости резания, подачи на зуб, твердости заготовки. Реализованы правила и значения выходной переменной - коэффициента коррек­ции стойкости инструмента для управления состоянием РИ, учиты­вающие специфику влияния параметров процесса резания, и позво­ляющие повысить его стойкостной ресурс. Предложенный метод на базе нейро-нечеткой сети, реализующий представление входных пе­ременных и вывода в относительных единицах, позволяет прини­мать решения по оценке стойкости инструмента в широком аспекте технологических ситуаций, обладая достаточной общностью.
2. Введенная модификация контрольных карт индивидуальных значе­ний предусматривает наглядную оценку близости статистических значений износа инструмента к допустимому значению стойкости. Полученные зависимости характеристик изнашивания позволяют прогнозировать параметры нечетких пограничных полос для управ­ления процессами обработки. Предложена структура системы иден­тификации состояния инструмента, основанная на анализе сигналов виброакустической эмиссии. Получен и представлен в диссертации набор mel-частотных спектральных коэффициентов, вычислены кепстральные коэффициенты сигнала.
3. Разработан и описан интеллектуальный модуль e-MindMachine, в соответствии с полученными математическими зависимостями, по­зволяет динамически управлять процессом резания, диагностируя состояние инструмента многооперационного станка. Модуль соот­ветствует мировой тенденциям организации интеллектуальных систем управления, информационного обмена данными и построе­ния информационных систем промышленных предприятий.

Практическая реализация результатов исследований.

Вследствие решения теоретических задач и проведенных эксперимен­тальных исследований получены следующие результаты:

1. Разработана система, моделирующая нелинейную зависимость вре­мени стойкости инструмента от локального изменения твердости поверхности заготовки и основных варьируемых факторов режима обработки - величины подачи и скорости резания. Определение зна­чений стойкости *Та* и *Tb* происходит посредством нахождения вели­чины статистических оценок матожиданий распределений размер­ного износа инструмента и среднеквадратических отклонений в мо­менты времени работы РИ существенно меньше, чем время крити­ческого износа.
2. Разработана адаптивная нейро-нечеткая система мониторинга со­стояния инструмента, использующая алгоритм извлечения вектора свойств, систему нечеткого логического вывода и информацию о параметрах резания для оценки радиального износа.
3. Созданы оболочка, структура и интерфейс системы мониторинга со­стояния режущего инструмента. Система моделирует нелинейную зависимость радиального износа инструмента от значений кепст- ральных коэффициентов и основных варьируемых факторов режима обработки - скорости резания, величины подачи, глубины резания и твердости поверхности заготовки для инструмента определённого диаметра. Интерфейс реализован с помощью программного пакета MatLab.
4. Реализована база данных в СУБД Microsoft Office Access 2007 через мост Java Database Connectivity - Open Database Connectivity. Разра­ботанная БД хранит информацию об инструментах, и оценке ради­ального износа РИ.

По материалам диссертации опубликовано 12 научных работ, из них:

* 6 - на международных научно-технических конференциях;
* 4 - в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входя­щих в Перечень ВАК Российской Федерации;
* 1 - во внутривузовском научном сборнике;
* 1 - отчет по НИР, прошедший государственную регистрацию.

Диссертация изложена на 147 страницах машинописного текста. Она включает в себя: введение, 4 главы основной части, основные результаты ра­боты, список литературных источников из 84 наименований, 9 таблиц, 44 ри­сунка, приложения на 18 страницах.

Во введении приводится общая характеристика работы, обосновывает­ся ее актуальность, научная новизна, практическая значимость, предоставля­ется информация о структуре диссертации.

Первая глава посвящена аналитическому обзору состояния вопроса эксплуатации современных диагностических систем в производстве. Описа­на проблема диагностирования состояния режущего инструмента, на много­операционных станках. В том числе проведен обзор методов, механизмов и систем диагностики состояния РИ, проанализированы современные научные работы, касающиеся данных вопросов. Также рассмотрены способы повыше­ния точности технологического оборудования при помощи внедрения мето­дов интеллектуального управления. Сформулированы цель и задачи диссер­тационного исследования.

Во второй главе сформулированы основные требования и принципы построения интеллектуального информационно-управляющего модуля диаг­ностики состояния инструмента многооперационного станка. Представлен подход к управлению состоянием инструмента, приведены математические зависимости. Описана системная архитектура интеллектуального модуля e- Mind Machine, с подробным рассмотрением модулей и узлов. Представлены четыре метода оценки состояния инструмента на станке.

Третья глава диссертационного исследования посвящена вопросам экс­периментального подтверждения эффективности представленных ранее че­тырех методов оценки состояния инструмента. В рамках экспериментального исследования доказывалась эффективность и практичность применения ме­тодов оценки параметров нечетких границ стойкости инструмента при раз­личных режимах, а также подтверждалось повышение точности обработки при работе интеллектуального модуля e-Mind Machine на многооперацион­ном станке с ЧПУ. Были вычислены и приведены коэффициенты коррекции времени стойкости, позволяющие повысить точность обработки и уменьшить изнашиваемость инструмента при обработке сложных поверхностей по срав­нению с обработкой на основе рекомендованных производителем режимах резания. Испытания проводились в лаборатории Южного центра модерниза­ции машиностроения Донского Государственного Технического Университе­та.

В четвертой главе диссертации предложена структура системы иден­тификации состояния инструмента, основанная на анализе сигналов виброа­кустической эмиссии. Получен и представлен в диссертации набор mel- частотных спектральных коэффициентов, вычислены кепстральные коэффи­циенты сигнала. С помощью адаптивной нейро-нечеткой системы вывода было установлено соответствие значений кепстральных коэффициентов и радиального износа инструмента. Реализована и описана база данных систе­мы мониторинга состояния инструмента, содержащая информацию об оценке его радиального износа.

Приложения содержат: листинг кода интеллектуального управляющего модуля e-Mind Machine, с помощью которого производится вычисление кеп- стральных коэффициентов на основе классического подхода; листинг кода, реализующий интерфейс системы мониторинга состояния инструмента.

Исследования выполнены на кафедре «Робототехника и мехатроника» Донского Государственного Технического Университета в течение 2013-2016 гг.

ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

В данной диссертационной работе, на основе теоретических и экспери­ментальных исследований, решается проблема контроля и управления со­стоянием инструмента многооперационного станка с использованием разра­ботанной системы интеллектуального мониторинга.

В ходе выполнения исследований осуществлена постановка цели дис­сертации, заключающаяся в повышении надежности обработки на многоопе­рационных станках в компьютеризированном производстве за счет оценки и управления состоянием инструмента.

В результате выполнения работ получены следующие научные резуль­таты, определяющие принципы и условия создания систем мониторинга со­стояния инструмента многооперационных станков в компьютеризированном производстве.

1. Представлена структура и принципы функционирования блока «Ин­струмент» интеллектуального модуля e-Mind Machine многооперационного станка. Системная архитектура интеллектуального управляющего модуля e­MM предполагает использование системы знаний как основы интеллектуаль­ной платформы, которая, в свою очередь, включает в себя совокупность бло­ков, охватывающих основные области функционирования многооперацион­ных станков на производстве. В число блоков входят: «Процесс обработки», «Инструмент», «Состояние станка», «Заготовка-деталь», «Информационный обмен».Описаны совокупность узлов блока «Инструмент», функции которых начинаются от сбора и хранения исходной информации по используемым инструментам и заканчиваются диагностикой их состояния. Структура сис­темы знаний модуля e-MM предусматриваем связи между e-Mind Machine и УЧПУ станка, возможность использования принимаемых интеллектуальной системой управления решений для составления или коррекции управляющей программы, а также пополнения баз данных и знаний.

Внешняя структура блока «Инструмент» модуля e-MM. Структура включает в себя узлы: регистрирующий; адаптации и специальных режимов резания; мониторинга состояния инструмента; управления диагностическими устройствами; наблюдений и управления; информационный. Представлено назначение узлов, сформированы совокупности данных и знаний, необходи­мые для функционирования узлов в составе блока «Инструмент».

Для решения задач управления состоянием инструментов введены по­нятия нечетких границ стойкости, а также ширины пограничной полосы, отображающие наступление рассматриваемого вида износа. Данные понятия представляют наибольший интерес для научной среды инструментальщиков, поскольку напрямую связаны с вопросами автоматизированной оценки рабо­тоспособности режущего инструмента и управления его состоянием при ра­боте многооперационных станков с ЧПУ в режиме «безлюдной технологии».

Приведены типовые ситуации, которые могут возникнуть при опреде­лении нечетких границ стойкости инструмента в процессе эксплуатации. Для каждой ситуации предложены методы оценки параметров нечеткой полосы стойкости инструмента. В перечень методов входит оценка параметров не­четкой полосы: на основе статистической обраотки данных; на базе ускорен­ных испытаний; на основе использования методологии искусственного ин­теллекта; при помощи метода контрольных карт.

1. Система мониторинга состояния инструмента, состояние которого влияет на размерную точность обработки, использует алгоритм извлечения вектора свойств, систему нечеткого логического вывода и информацию о па­раметрах резания для оценки радиального износа. Модель системы диагности­ки ориентирована на определение пограничных значений стойкости *Та* и *Tb* не­четкой полосы посредством нахождения величины статистических оценок матожиданий распределений размерного износа инструмента и среднеквад­ратических отклонений в моменты времени работы РИ существенно меньше, чем время критического износа.
2. Практическая реализация разработанной системы включает в себя два типа станочных испытаний - объемный и ускоренный; реализован метод диагностики состояния РИ на базе нейро-нечеткой сети, реализующий пред­ставление входных переменных и вывода в относительных единицах; введена модификация контрольных карт, предусматривающая наглядную оценку близости статистических значений износа инструмента к допустимому зна­чению стойкости. Установлен вид распределения значений стойкости по до­пустимой величине износа лезвия. Близость полученного распределния к нормальному доказана с помощью проверки по ассиметрии и эксцессу.

Установлено среднее значение времени стойкости инструмента при импользовании метода ускоренных ипытаний, предуматривающего исполь­зование предельных значений режимов резания.

База правил нечеткого прогнозирования износостойкости РИ в качестве входных переменных использует относительные значения скорости резания, пода­чи на зуб и поверхностной твердости заготовки к соответствующим средним зна­чениям в диапазонах, указанных ранее. В качестве выходной - коэффициент кор­рекции времени стойкости. Нейронная сеть включает промежуточный слой с 12 нейронами (в соответствии с нечеткими правилами вывода) и один выход. Коэффициент коррекции, с учетом значения которого определяется прогно­зируемое значение стойкости РИ, и соотношения входных параметров при­няты на основе экспертных заключений и в соответствии с данными катало­гов инструментальных фирм. Определены значения, соответствующие пре­дельным значениям скорости резания, подачи и поверхностной твердости заготовки.

1. Математические зависимости характеристик изнашивания инстру­мента позволяют прогнозировать параметры нечетких пограничных полос для оценки и управления процессами обработки; эффективность метода под­тверждена проведенными испытаниями;
2. Структура системы идентификации состояния инструмента, основа­на на анализе сигналов виброакустической эмиссии. Система моделирует не­линейную зависимость радиального износа инструмента от значений кепст- ральных коэффициентов и основных варьируемых факторов режима обра­ботки.

«Гребенка» mel-фильтров отражает разложение спектральной плотно­сти мощности сигнала акустической эмиссии по mel-шкале. Каждый mel- фильтр позволяет произвести оценку энергии спектра на определенном диа­пазоне частот, тем самым получая mel-коэффициент.

1. Установлено соответствие значений кепстральных коэффициентов к значению радиального износа режущего инструмента. Это осуществлено с использованием адаптивной нейро-нечеткую системы вывода ANFIS. Систе­ма мониторинга состояния инструмента после остановки отправляет данные в базу данных. БД реализована в СУБД Microsoft Office Access 2007 через мост JDBC-ODBC (Java Database Connectivity - Open Database Connectivity), являющийся драйвером JDBC, выполняющим операции JDBC путем транс­ляции их в операции ODBC. Мост предоставляет JDBC-интерфейс к любым СУБД, для которых доступен ODBC-драйвер. Мост реализован в виде про­граммного пакета и содержит библиотеку для доступа к ODBC.

База данных хранит информацию об инструментах, которая позволяет определить когда, какой, сколько времени и при каких режимах резания ра­ботал инструмент. БД также содержит информацию об оценке радиального износа режущего инструмента.