

Анциферов Артем Всеволодович

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ ИЗДЕЛИЙ НА ОБОРУДОВАНИИ С
ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск – 2013

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете на кафедре вычислительной техники

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент
Локтионова Оксана Геннадьевна

Официальные оппоненты:

Ивахненко Александр Геннадьевич
доктор технических наук, профессор,
Юго-Западный государственный
университет, профессор кафедры
управления качеством, метрологии и
сертификации

Беломестная Анна Леонидовна
кандидат технических наук,
ОХП «Опытно-конструкторское бюро
«Авиаавтоматика»,
инженер 3-й категории

Ведущая организация:

Астраханский государственный
технический университет,
г. Астрахань

Защита диссертации состоится «27» ноября 2013 г. в 14⁰⁰ часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212.105.03 при Юго-Западном государственном университете по адресу: 305040, Курск, ул.50-лет Октября, 94.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета.

Автореферат разослан «24» октября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.105.03

Милостная Наталья Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. К современным автоматизированным системам обработки изделий на оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ) предъявляются постоянно растущие требования по обеспечению производительности технологических процессов, достижение которых невозможно без совершенствования конструкции как самого производственного оборудования с ЧПУ, так и автоматизированных систем управления обработкой изделий.

Основными направлениями повышения производительности являются обработка поверхности детали с высокими скоростью резания, минутной подачей и оборотами шпинделя, а также применение новейших методов и средств контроля с использованием компьютерных способов обработки информации.

В свою очередь, возможность повышения скорости обработки изделий ограничена стойкостью используемого инструмента к перегреву, а также температурными погрешностями, возникающими в зоне резания и приводящими к снижению точности обработки.

Традиционным методом решения проблемы перегрева режущего инструмента является применение смазочно-охлаждающих жидкостей, что приводит к избыточной конструктивной сложности.

Перспективным направлением решения данной проблемы является применение охлаждения, основанного на термоэлектрическом эффекте Пельтье. С учетом случайного характера возникающих температурных погрешностей целесообразно использовать математический аппарат нечеткой логики, позволяющий оперировать приближенными диапазонами значений входных и выходных параметров режима обработки изделия.

Способы построения автоматизированных систем управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ изложены в работах М.Б. Флека, С.В. Полякова, А.А. Игнатьева и ряда других ученых. Однако вопросы нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ в условиях неопределенности информации о количественных величинах температурных погрешностей, действующих в режиме реального времени на технологический процесс обработки, рассмотрены недостаточно. В связи с этим разработка автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ является весьма актуальной.

Диссертационная работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках поисковой научно-исследовательской работы по федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы № Госконтракта 14.740.11.1003 по теме «Разработка теоретических основ, принципов и алгоритмов адаптации сложных информационно-технических систем методами нечеткой логики с учетом прогнозирования возможных состояний», а также в рамках Государственного задания (соглашение № 7.3522.2011) по теме «Разработка теоретических основ и алгоритмов

адаптации сложных технических систем с прогнозированием вероятных состояний».

Цель диссертационной работы - повышение производительности обработки изделий путем создания автоматизированной системы нейро-нечеткого управления.

Научно-технической задачей является создание адаптивной нейро-нечеткой математической модели обработки изделий с функцией самообучения, а также разработка на её основе автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий.

Данная задача декомпозирована на следующие частные задачи:

1. Анализ автоматизированных систем управления обработкой изделий и определение путей повышения производительности обработки.
2. Разработка адаптивной математической модели нейро-нечеткого управления обработкой изделий с целью повышения производительности обработки.
3. Разработка целевых критериев оценки функционирования автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий и алгоритма её функционирования.
4. Разработка автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий.
5. Экспериментальная оценка работы автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий.

Научная новизна результатов работы и основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель нейро-нечеткого управления обработкой изделий, отличающаяся нечетко-логическим описанием зависимости температуры в зоне резания от скорости вращения детали и величины подачи, позволяющая проводить самообучение и адаптацию системы;
- целевые критерии оценки функционирования автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий и алгоритм её функционирования, отличающийся нечетко-логической обработкой входных параметров системы и возможностью управления интенсивностью охлаждения режущего инструмента;
- автоматизированная система нейро-нечеткого управления обработкой изделий, особенностью которой является применение режущего инструмента с элементом Пельтье, обеспечивающая повышение производительности оборудования с ЧПУ и позволяющая создать аппаратно-программный комплекс для проверки адекватности адаптивной математической модели нейро-нечеткого управления обработкой изделий.

Методы исследования. В работе использованы методы теории автоматического управления, нечеткой логики и множеств, теоретические основы технологии машиностроения, а также методы вычислительной математики и математической статистики.

Практическая ценность работы:

1. Адаптивная математическая модель нейро-нечеткого управления, которая может быть использована в системах автоматизации технологических процессов для повышения производительности обработки изделий на оборудовании с ЧПУ, защищена патентом РФ №2486992.

2. Алгоритм функционирования автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий позволяет обеспечить снижение температуры в зоне резания путем увеличения интенсивности охлаждения режущего инструмента.

3. Аппаратно-программный комплекс нейро-нечеткого управления обработкой изделий с возможностью самообучения и адаптации системы для выполнения целевого критерия, заключающегося в соответствии температуры в зоне резания эталонному значению, обеспечивает повышение производительности обработки изделий на оборудовании с ЧПУ (защищен патентом РФ №2470757).

Реализация и внедрение. Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены в ОАО «ЖБИ» в условиях опытно-промышленной эксплуатации автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий, а также используются в учебном процессе кафедры «Вычислительная техника» Юго-Западного государственного университета в рамках дисциплин «Интеллектуальные системы» и «Микропроцессорная техника», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Содержание диссертации соответствует п.4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация» и п.15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.)» паспорта специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на 11 международных и всероссийских научно-технических конференциях: «Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы. Диагностика» (Курск, 2011), «Инновации, качество и сервис в технике и технологии» (Курск, 2011), «Системы, методы, техника и технологии обработки медиаконтента» (Москва, 2011), «Интеллектуальные и информационные системы. Интеллект» (Тула, 2011), «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования» (Вологда, 2012), «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2012), «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной

информации. Распознавание» (Курск, 2012, 2013), «Информационные системы и технологии» (Курск, 2012), «Новые информационные технологии и системы» (Пенза, 2012), «Машиностроение – основа технологического развития России» (Курск, 2013), а также на научно-технических семинарах кафедры «Вычислительная техника» Юго-Западного государственного университета (КурскГТУ) с 2009 по 2013 гг.

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в 20 научных трудах, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах, 2 патента Российской Федерации на изобретение, а также разделы в двух монографиях.

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту научные положения разработаны соискателем лично. В работах по теме диссертации, опубликованных в соавторстве, вклад соискателя состоит в следующем: в [1, 2, 3, 4] разработана адаптивная математическая модель нейро-нечеткого управления обработкой изделий, в [7, 8, 13, 16, 19] – алгоритм функционирования автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий, в [5, 6, 10, 12] – автоматизированная система нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 123 наименований и приложения. Основная часть диссертационной работы изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 31 рисунок, 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, приведены положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе рассмотрены современные автоматизированные системы управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ и проведен анализ факторов, влияющих на их производительность.

Установлено, что основным фактором, влияющим на производительность оборудования с ЧПУ, являются температурные погрешности обработки, вызванные перегревом используемого инструмента. Традиционные системы охлаждения инструмента с применением смазочно-охлаждающих жидкостей обладают низкой эффективностью и высокой конструктивной сложностью.

Тем самым доказана необходимость разработки математической модели и структурно-функциональной организации автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ.

Во второй главе разработана адаптивная математическая модель нейро-нечеткого управления обработкой изделий M_{OBR} , позволяющая путем

коррекции скорости вращения детали, подачи и интенсивности охлаждения режущего инструмента поддерживать температуру в зоне обработки в допустимом диапазоне. Данная модель декомпозирована на математические модели выбора режима обработки M_{BPO} , самообучения системы M_{CO} , адаптации M_A и эффекта Пельтье $M_{П}$.

Разработка математической модели выбора режима обработки M_{BPO} включала следующие этапы:

Этап 1. Фаззификация входных и выходных переменных

$$S = \{ \langle s, \mu(s) \rangle \}, V = \{ \langle v, \mu(v) \rangle \}, T = \{ \langle t, \mu(t) \rangle \}, \quad (1)$$

где $\mu(s) \rightarrow [0, 1]$, $\mu(v) \rightarrow [0, 1]$, $\mu(t) \rightarrow [0, 1]$ – степени принадлежности подачи режущего инструмента S , скорости вращения детали V и температуры в зоне резания T соответственно.

Этап 2. Определение параметров режима обработки в виде кусочно-линейных функций принадлежности (рисунок 1)

$$f(x; a, b, c, d, e) = \begin{cases} W_1 + W_2 \cdot \left(\frac{c-x}{c-b} \right) \\ W_2 \cdot \left(\frac{x-b}{c-b} \right) + W_3 \cdot \left(\frac{d-x}{d-c} \right), \\ W_3 \cdot \left(\frac{d-x}{d-c} \right) + W_4 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} W_1 &= \begin{cases} 1, & x \in [a, b) \\ 0, & x \notin [a, b) \end{cases}, & W_3 &= \begin{cases} 1, & x \in [c, d) \\ 0, & x \notin [c, d) \end{cases}, \\ W_2 &= \begin{cases} 1, & x \in [b, c) \\ 0, & x \notin [b, c) \end{cases}, & W_4 &= \begin{cases} 1, & x \in [d, e) \\ 0, & x \notin [d, e) \end{cases}, \end{aligned} \quad (3)$$

где a, b, c, d, e – параметры, удовлетворяющие условию $a \leq b \leq c \leq d \leq e$; W_i , $i=1 \dots n$, – логические переменные; n – количество логических переменных.

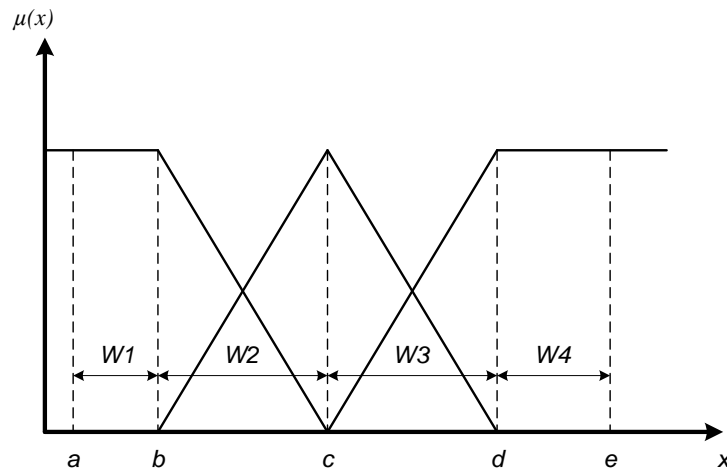


Рис. 1. Кусочно-линейная функция принадлежности

При этом для получения более гладкой поверхности отклика выходной переменной для функций принадлежности входных переменных должно выполняться условие разбиения единицы, которое

состоит в равенстве 1 суммы степеней принадлежности для каждого из элементов x в области определения

$$\sum_{nn} \mu_{A_{nn}}(x) = 1, \quad \forall x \in X, \quad (4)$$

где nn – номер нечеткого множества.

Этап 3. Разработка базы знаний в виде нечетких правил управления (НП), которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Нечеткие правила управления базы знаний

НП	Если		То	НП	Если		То	НП	Если		То
b_1	s_1	v_1	t_5	b_4	s_2	v_1	t_4	b_7	s_3	v_1	t_3
b_2	s_1	v_2	t_4	b_5	s_2	v_2	t_3	b_8	s_3	v_2	t_2
b_3	s_1	v_3	t_3	b_6	s_2	v_3	t_2	b_9	s_3	v_3	t_1

Этап 4. Формирование частных уровней отсечения матрицы нечетких отношений в соответствии с таблицей 1.

Для повышения чувствительности системы к изменениям входных параметров и сохранения свойства аддитивности в качестве операций минимума и максимума используются мягкие арифметические операции

$$\begin{aligned} \mu'(t)_1 &= \left| \gamma \cdot \max(b_9, \mu(t)_1) + 0,5 \cdot (1 - \gamma) \cdot (b_9 + \mu(t)_1) \right|, \\ \mu'(t)_2 &= \left| \gamma \cdot \max\left(\frac{b_6 + b_8 + \delta^2 - \sqrt{(b_6 - b_8)^2 + \delta^2}}{2}, \mu(t)_2\right) + \right. \\ &\quad \left. + 0,5 \cdot (1 - \gamma) \cdot \left(\frac{b_6 + b_8 + \delta^2 - \sqrt{(b_6 - b_8)^2 + \delta^2}}{2} + \mu(t)_2\right) \right|, \\ \mu'(t)_3 &= \left| \gamma \cdot \max\left(\min_{\delta}(b_3, b_5, b_7), \mu(t)_3\right) + 0,5 \cdot (1 - \gamma) \cdot \left(\min_{\delta}(b_3, b_5, b_7) + \mu(t)_3\right) \right|, \\ \min_{\delta}(b_3, b_5, b_7) &= 0,25(b_3 + b_5 + \delta^2 - \sqrt{(b_3 - b_5)^2 + \delta^2} + 2 \cdot b_7 + \\ &\quad + 2 \cdot \delta^2 - 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{b_3 + b_5 + \delta^2 - \sqrt{(b_3 - b_5)^2 + \delta^2}}{2} - b_7\right)^2 + \delta^2}), \\ \mu'(t)_4 &= \left| \gamma \cdot \max\left(\frac{b_2 + b_4 + \delta^2 - \sqrt{(b_2 - b_4)^2 + \delta^2}}{2}, \mu(t)_4\right) + \right. \\ &\quad \left. + 0,5 \cdot (1 - \gamma) \cdot \left(\frac{b_2 + b_4 + \delta^2 - \sqrt{(b_2 - b_4)^2 + \delta^2}}{2} + \mu(t)_4\right) \right|, \\ \mu'(t)_5 &= \left| \gamma \cdot \max(b_1, \mu(t)_5) + 0,5 \cdot (1 - \gamma) \cdot (b_1 + \mu(t)_5) \right|, \end{aligned} \quad (5)$$

где $b_{i=1..n}$ – вектор алгебраического произведения фазифицированных входных величин, $n=9$ – количество нечетких правил управления, γ, δ – операторы параметризации, введенные для адаптации системы (при $\gamma=1$ формула сводится к операции «жесткого» максимума MAX, при $\gamma=0$ формула сводится к операции среднего арифметического MEAN), $\delta = [0,01 \dots 0,05]$ (из экспериментальных исследований установлено, что наилучшие свойства аддитивности получены при $\delta = 0,05$).

Этап 5. Формирование обобщенных уровней отсечения термов функции принадлежности выходной переменной

$$\mu''(t)_{1..5} = \min_{\delta}(\mu(t)_{1..5}, \mu'(t)_{1..5}). \quad (6)$$

Этап 6. Объединение всех степеней истинности заключений для получения выходной функции принадлежности. Логическое объединение новых термов представлено как

$$T' = \max_{\gamma}(t_{1..5}, \mu'(t)_{1..5}). \quad (7)$$

Этап 7. Дефаззификация выходной величины температуры в зоне резания t^* основана на методе высот

$$t^* = \frac{\sum_{j=1}^m \int t_j \mu_t(t) dt}{\sum_{j=1}^m \int \mu_t(t) dt}. \quad (8)$$

Соотношения (1)÷(8) составляют математическую модель выбора режима обработки M_{BPO} (патент РФ №2486992), на основе которой разработана аналогичная математическая модель управления величиной силы тока, подаваемого на элемент Пельтье для охлаждения режущего инструмента.

Для обеспечения аддитивности автоматизированной системы нейро-нечеткого управления введен целевой критерий вида

$$Ц_1 = t^* - T_{этал} \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $T_{этал}$ – эталонное значение температуры в зоне резания.

Математическая модель самообучения системы M_{CO} предназначена для коррекции термов функции принадлежности при дискретном характере выходной переменной в случае невыполнения целевого критерия $Ц_1$.

Разработка математической модели самообучения системы M_{CO} включает следующие этапы.

1. Добавление обучающего терма в функции принадлежности входных и выходной переменных (рисунок 2). Функция принадлежности при этом принимает вид

$$f(x; a, b, b', c, d, e) = \begin{cases} W_1 + W_2' \cdot \left(\frac{(c - b') - x}{c - b'} \right) \\ W_2' \cdot \left(\frac{x - b'}{b' - b} \right) + W_3' \cdot \left(\frac{c - x}{c - b'} \right) \\ W_2' \cdot \left(\frac{x - b'}{c - b'} \right) + W_3 \cdot \left(\frac{d - x}{d - c} \right) \\ W_3 \cdot \left(\frac{d - x}{d - c} \right) + W_4 \end{cases}. \quad (10)$$

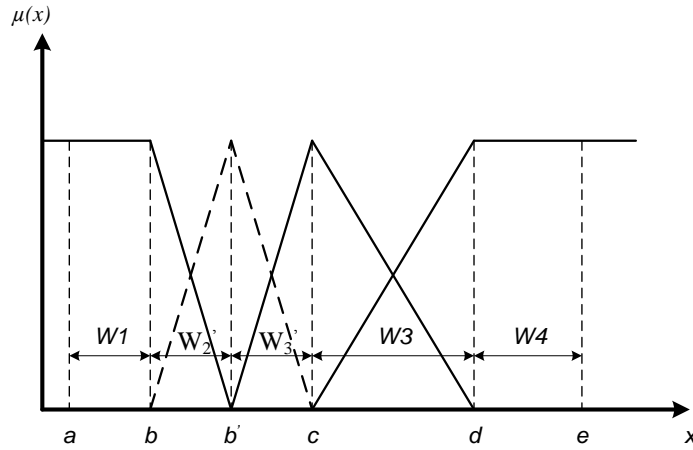


Рис. 2. Обучающий терм функции принадлежности

2. Добавление нечеткого правила управления для обучающих термов

$$b_{10}: \text{если } s \text{ есть } s_4 \text{ и } v \text{ есть } v_4 \text{ то } t \text{ есть } t_6. \quad (11)$$

3. Добавление корректирующего терма в матрицу нечетких отношений

$$\mu'(t)_6 = |\gamma \cdot \max(b_{10}, \mu(t)_6) + 0,5 \cdot (1 - \gamma) \cdot (b_{10} + \mu(t)_6)|. \quad (12)$$

4. Формирование обобщенных уровней отсечения термов функции принадлежности выходной переменной с учетом корректирующего терма

$$\mu''(t)_{1..6} = \min_{\delta} (\mu(t)_{1..6}, \mu'(t)_{1..6}). \quad (13)$$

5. Логическое объединение термов функции принадлежности выходной переменной

$$T' = \max_{\gamma} (t_{1..6}, \mu'(t)_{1..6}). \quad (14)$$

Соотношения (10)÷(14) являются составляющими математической модели самообучения системы M_{CO} .

После вычисления фактического значения выходной переменной выполняется процедура адаптации, которая сводится к обеспечению выполнения целевого критерия (9), т.е. к корректировке термов выходной переменной t до тех пор, пока полученное значение t^* не станет максимально приближено к заранее известному эталонному значению $T_{этал}$.

$$t_{i+1} = t_i + \varphi(t^* - T_{этал}), \quad (15)$$

где φ - скорость обучения нейро-нечеткой системы (из экспериментальных исследований установлено, что наилучший результат адаптации системы получен при $\varphi=0,7$).

Соотношение (15) является составляющей математической модели адаптации M_A .

Математическая модель эффекта Пельтье имеет вид

$$M_{\Pi} = f(T; Q_{\Pi}), \quad (16)$$

где T – температура резания, Q_{Π} – количество теплоты, поглощаемой элементом Пельтье.

Температура резания при токарной обработке деталей из стали определяется как

$$T = 166,5 \cdot v^{0,4} \cdot t^{0,105} \cdot s^{0,2}, \quad (17)$$

где v – скорость вращения детали, t – глубина резания, s – подача режущего инструмента.

Количество поглощаемой элементом Пельтье теплоты равно

$$Q_{\Pi} = T \cdot \Delta\alpha \cdot I, \quad (18)$$

где T – температура резания, $\Delta\alpha$ – разность термоэлектрических коэффициентов полупроводников, I – величина силы тока, проходящего через элемент Пельтье.

Величина силы тока, проходящего через элемент Пельтье, определяется как

$$I = f(R_1; R_2; U_{num}), \quad (19)$$

где R_1 , R_2 – сопротивления цепи питания элемента Пельтье, U_{num} – напряжение, подаваемое на элемент Пельтье.

Соотношения (16)÷(19) являются составляющей математической модели эффекта Пельтье M_{Π} .

Адаптивная математическая модель управления обработкой изделий M_{OBR} представлена в виде нейро-нечеткой структуры (рисунок 3).

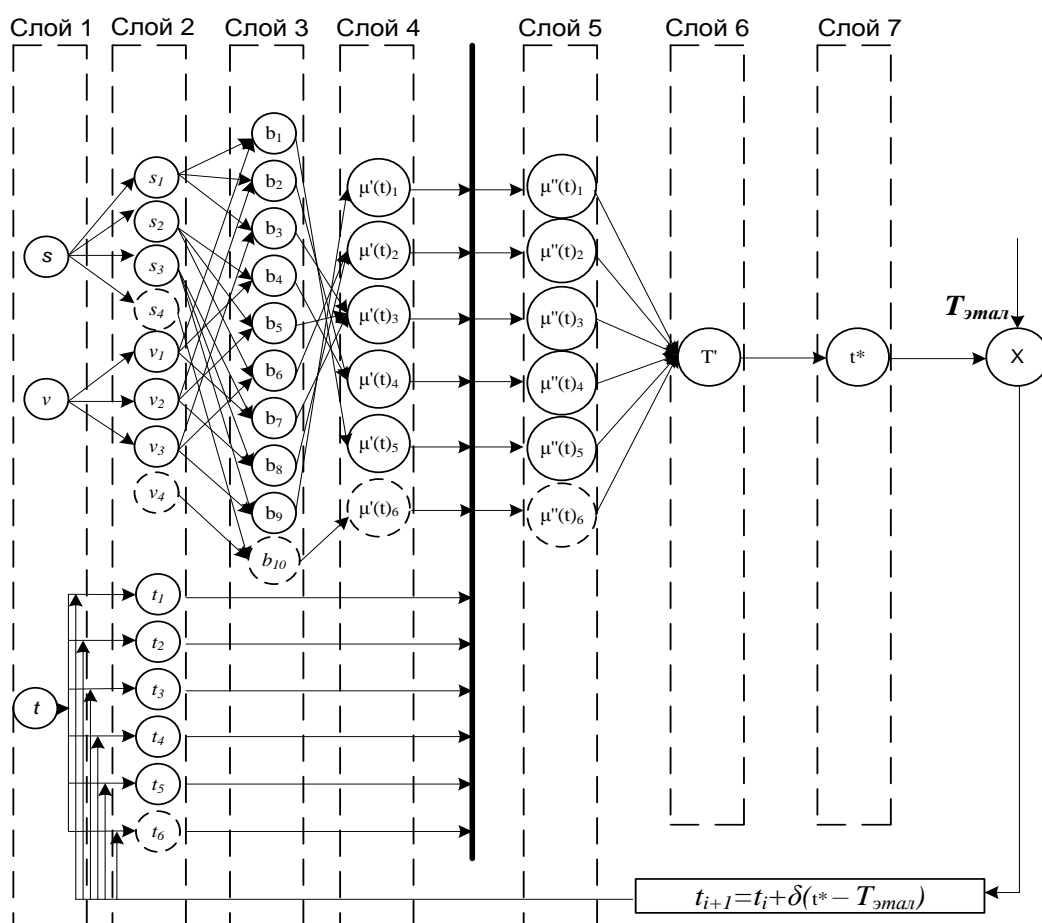


Рис. 3. Адаптивная математическая модель нейро-нечеткого управления обработкой изделий M_{OBR}

Разработанные математические модели выбора режима обработки M_{BPO} , самообучения системы M_{CO} , адаптации M_A и эффекта Пельтье M_P составили адаптивную математическую модель нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ, позволяющую в реальном времени управлять обработкой изделий путем поддержания температуры резания в допустимом диапазоне с сохранением требуемой точности обработки.

В третьей главе разработана автоматизированная система нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ (рисунок 4) и алгоритм ее функционирования (рисунок 5).

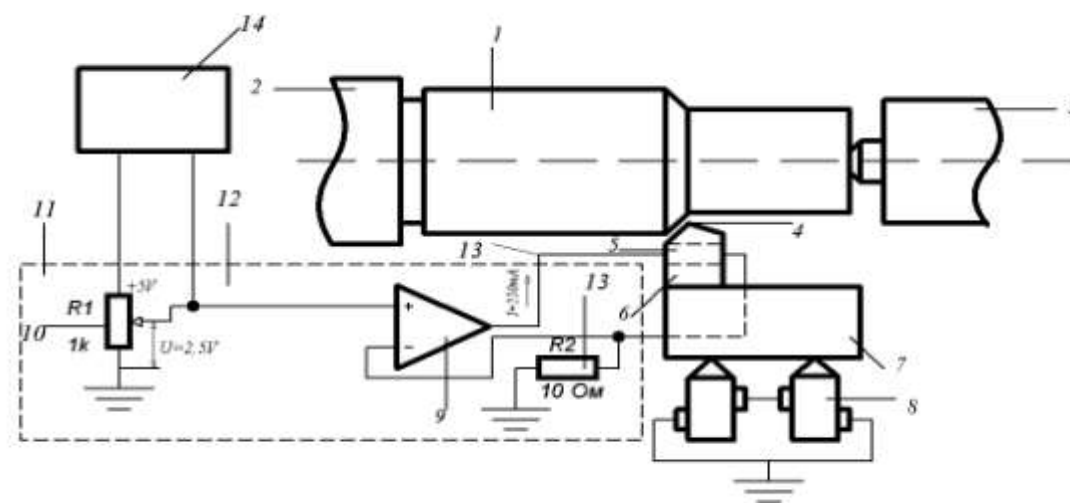


Рис. 4. Автоматизированная система нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ (патент РФ №2470757), где 1 – деталь; 2, 3 – передняя и задняя бабки; 4 –режущая часть инструмента; 5 – специальная пластина с элементом Пельтье; 6 – державка; 7 – резцедержатель; 8 – исполнительные механизмы оборудования с ЧПУ; 9 – операционный усилитель; 10 – потенциометр; 11 – блок управления охлаждением; 12 – токопровод; 13 – резистор; 14 – нечеткий контроллер

При обработке детали 1 возникают случайные погрешности, вызванные повышением температуры в зоне резания, которые приводят к ухудшению качества обрабатываемой поверхности. В режущий инструмент, состоящий из режущей части 4 со специальной пластиной с элементом Пельтье 5, переходит от 10 до 30 процентов выделяемого тепла, а остальная часть поглощается металлической стружкой, удаляемой при помощи системы обдува зоны резания.

С целью устранения случайных погрешностей и для увеличения производительности технологического процесса обработки изделий используется охлаждение режущего инструмента на основе элемента Пельтье с использованием математической модели M_P . Для управления охлаждением используется блок управления интенсивностью охлаждения 11, содержащий операционный усилитель 9, потенциометр 10 и резистор 13.

Для обеспечения требуемой температуры в зоне резания определяются параметры режима обработки с помощью математической модели M_{BPO} .

Нечеткий контроллер 14 в реальном времени через систему контроля оборудования с ЧПУ получает данные о скорости вращения детали 1, величине подачи и температуре в зоне резания, затем, исходя из нечетких правил управления модели M_{BPO} , регулирует выходное напряжение блока управления интенсивностью охлаждения 11.

Для оценки производительности автоматизированной системы управления обработкой изделий введен целевой критерий C_2 , соответствующий технологической производительности оборудования с ЧПУ

$$C_2 = \frac{1}{t_{обр}} \rightarrow \max, \quad (20)$$

где $t_{обр}$ – время обработки изделия.

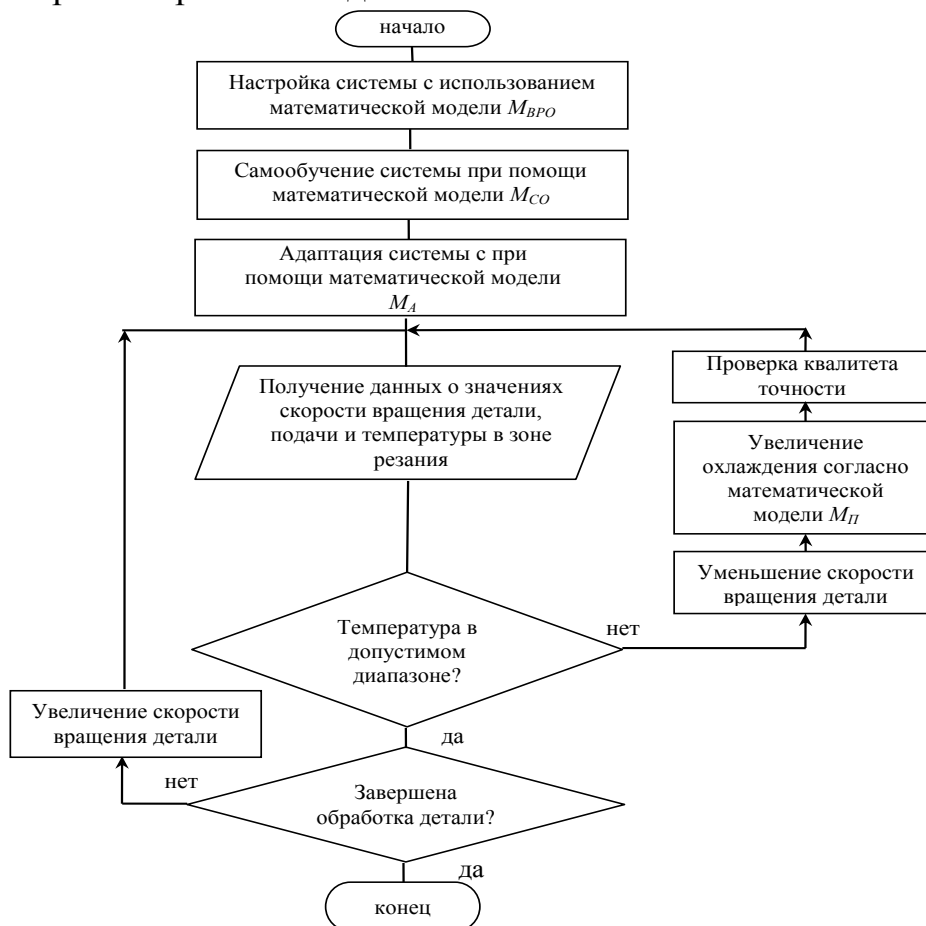


Рис. 5. Алгоритм функционирования автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ

Перед началом технологического процесса обработки изделия производится настройка параметров режима резания с использованием математических моделей выбора режима обработки M_{BPO} , самообучения системы M_{CO} и адаптации M_A .

После начала обработки детали система активного контроля ЧПУ начинает мониторинг величины подачи режущего инструмента, скорости вращения детали и температуры в зоне резания. Как только температура превышает заданное допустимое значение, уменьшается скорость вращения детали, основываясь на правилах нечеткой логики, получаемых из нечеткого контроллера, затем блок управления интенсивностью охлаждения повышает величину силы тока, рассчитываемую с использованием математической модели M_{Π} . Если температура вернулась к допустимому значению, то обработка детали продолжается. В противном случае происходит дальнейшее увеличение величины силы тока, проходящего через пластину с элементом Пельтье. Замедление скорости вращения детали предусмотрено для предотвращения износа лезвийного инструмента.

Разработанная автоматизированная система нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ и алгоритм её функционирования позволяют управлять интенсивностью охлаждения режущего инструмента в случае превышения температуры в зоне резания допустимого значения.

В четвертой главе с целью проверки адекватности адаптивной математической модели нейро-нечеткого управления обработкой изделий M_{OBR} разработан аппаратно-программный комплекс, позволяющий провести экспериментальные исследования (рисунок 6).



Рис. 6. Аппаратно-программный комплекс автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ

В ходе проведения эксперимента получены результаты, позволяющие оценить адекватность адаптивной математической модели нейро-нечеткого управления и алгоритма управления обработкой изделий.

Поверхность отклика выходной переменной математической модели нейро-нечеткого управления представлена на рисунке 7.

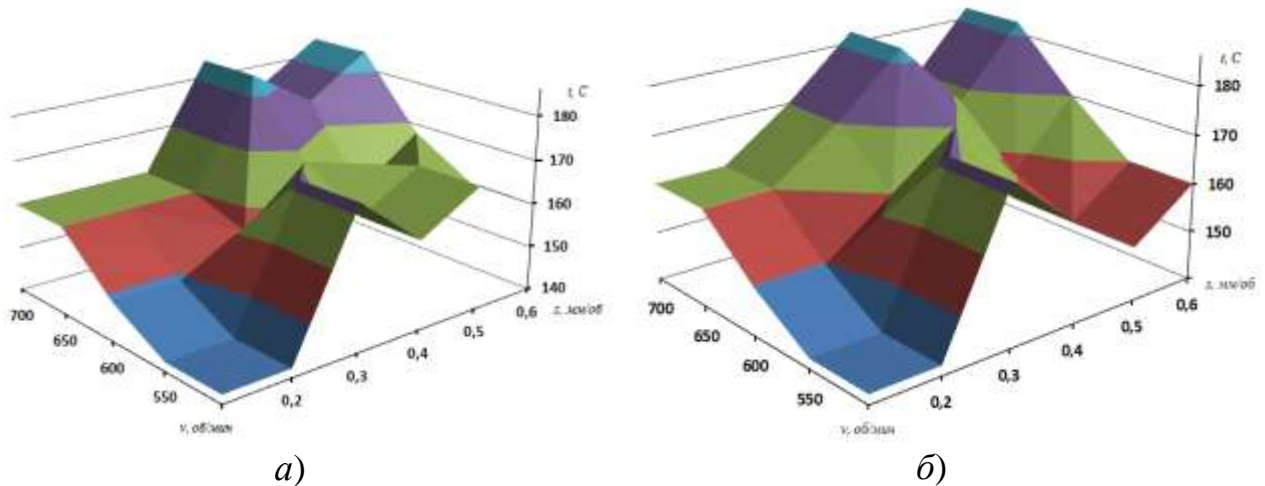


Рис. 7. Графики, моделирующие поверхность отклика выходной переменной математической модели нейро-нечеткого управления: *а* – без работы алгоритма самонастройки, $s \in [0.1, 0.6]$; *б* – с алгоритмом самонастройки, $s \in [0.1, 0.6]$

При работе системы нейро-нечеткого управления без использования алгоритма самонастройки график отклика выходной переменной на изменение входных переменных имеет более угловатую поверхность, что говорит о её плохой способности реагирования на изменение входных параметров, то есть об отсутствии свойства аддитивности (рисунок 7, *а*). При использовании алгоритма самообучения (рисунок 7, *б*) поверхность отклика выходной переменной на изменение входных величин аддитивна.

Результаты статистической обработки данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ функционирования автоматизированных систем управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ

Оборудование Параметры	Стандартное оборудование с ЧПУ	Оборудование с разработанной системой нейро- нечеткого управления	Результат (повышение)
Время принятия управляющего решения	0,32 мс	0,23 мс	39%
Производительность	1419 деталей в сутки	1561 деталь в сутки	10%

По результатам статистической обработки данных и экспериментального исследования сделан вывод, что при использовании

автоматизированной системы нейро-нечеткого управления время принятия управляющего решения снижается на 39%, а производительность оборудования с ЧПУ повышается на 10%, что свидетельствует о научно-технической ценности работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи создания адаптивной математической модели нейро-нечеткого управления обработкой изделий с функцией самообучения, а также разработки на её основе автоматизированной системы нейро-нечеткого управления.

В ходе решения данной задачи получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ автоматизированных систем управления обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ, в результате которого установлено, что существующие системы управления данным процессом не обладают свойством аддитивности и возможностью самообучения, при этом обладают высокой конструктивной сложностью, связанной с применением смазочно-охлаждающих жидкостей.

2. Разработана адаптивная математическая модель нейро-нечеткого управления обработкой изделий, включающая математические модели выбора режима обработки, самообучения системы, адаптации и эффекта Пельтье, позволяющая в реальном времени управлять обработкой изделий путем поддержания температуры в зоне резания в допустимом диапазоне с сохранением требуемой точности обработки.

3. Разработаны целевые критерии оценки функционирования автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий и алгоритм её функционирования, позволяющий управлять интенсивностью охлаждения режущего инструмента в случае превышения температуры в зоне резания допустимого значения.

4. Разработана автоматизированная система нейро-нечеткого управления обработкой изделий, позволяющая увеличить производительность оборудования с ЧПУ.

5. Разработан аппаратно-программный комплекс и методика проведения экспериментальных исследований автоматизированной системы нейро-нечеткого управления обработкой изделий, подтверждающие адекватность математической модели нейро-нечеткого управления обработкой изделий. На основе обработки экспериментальных данных установлено, что производительность оборудования с ЧПУ при обработке изделий увеличилась на 10%.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Анциферов, А.В. Автоматизированная система управления скоростью обработки деталей на оборудовании с ЧПУ [Текст] / А.В. Анциферов, В.С. Титов, М.В. Бобырь, О.Г. Локтионова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2 (41). – Ч.1. – С.13-16.
2. Анциферов, А.В. Алгоритм высокоскоростной обработки деталей на основе нечеткой логики [Текст] / В.С. Титов, М.В. Бобырь, А.В. Анциферов // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2012. – № 6. – С. 21-26.
3. Анциферов, А.В. Адаптивный мультисетевой алгоритм нечетко-логического вывода для оборудования с ЧПУ [Текст] / В.С. Титов, М.В. Бобырь, А.В. Анциферов // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2013. – № 5. – С. 18-23.
4. Анциферов, А.В. Алгоритм самообучения адаптивных нейро-нечетких систем на основе мягких вычислений [Текст] / С.Г. Емельянов, М.В. Бобырь, А.В. Анциферов // Информационно-измерительные управляющие системы. – 2013. – №8. – С. 3-9.

Патенты

5. Пат. 2470757 Российская Федерация, МПК⁷В23Q11/10. Устройство охлаждения режущего инструмента [Текст] / С.Г. Емельянов, В.С. Титов, М.В. Бобырь, А. В. Анциферов; заявитель и патентообладатель: Юго-Западн. гос. ун-т. – №2011107672/02; заявл. 28.02.11; опубл. 10.09.12, Бюл. №25. – 6 с.: ил.
6. Пат. 2486992 Российская Федерация, МПК⁷В23Q11/14. Способ и устройство охлаждения режущего инструмента для повышения точности при обработке деталей на оборудовании с ЧПУ [Текст] / Л.М. Червяков, В.С. Титов, М.В. Бобырь, А.В. Анциферов; заявитель и патентообладатель: Юго-Западн. гос. ун-т – №2011139923/02; заявл. 30.09.11; опубл. 10.07.13, Бюл. №19. – 13 с.: ил.

Другие публикации

7. Автоматизированные нечетко-логические системы управления: Монография [Текст] / М.В. Бобырь, В.С. Титов, С.Г. Емельянов. – М.: Инфра-М, 2011. – 176 с. – (Научная мысль): раздел №1.4.3 Алгоритм нечеткого вывода Сугэно. – С.66-67.
8. Адаптивные нечетко-логические системы управления: Монография [Текст] / М.В. Бобырь, В.С. Титов, С.Г. Емельянов. – М.:

АРГАМАК-МЕДИА, 2013. – 184 с. – (Научное сообщество):. раздел №2.2.2 Модифицированный алгоритм Мамдани. – С.64-69.

9. Анциферов, А.В. Охлаждаемый лезвийный инструмент [Текст] / А. В. Анциферов // Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы. Диагностика: материалы 2-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 160-161.

10. Анциферов, А.В. Охлаждаемый лезвийный инструмент [Текст] / А. В. Анциферов, М. В. Бобырь // Инновации, качество и сервис в технике и технологии – 2011: материалы 2-ой международной научно-практической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 33-34.

11. Анциферов, А.В. Алгоритм системы управления высокоскоростной обработкой деталей [Текст] / А. В. Анциферов // Системы, методы, техника и технологии обработки медиаконтента: материалы научно-технической международной молодежной конференции. – Москва: МГУП им. Ивана Федорова, 2011. – С. 9.

12. Анциферов, А. В. Интеллектуальная система управления высокоскоростной обработкой деталей[Текст] / А. В. Анциферов, В. С. Титов, М. В. Бобырь // Интеллектуальные и информационные системы. Интеллект: материалы всероссийской научно-технической конференции. – Тула: ТулГУ, 2011. – С. 113-114.

13. Анциферов, А.В. Алгоритм управления обработкой деталей на оборудовании с ЧПУ на основе нечеткой логики [Текст] / А. В. Анциферов, М. В. Бобырь // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – С. 43-46.

14. Анциферов, А.В. Адаптивный алгоритм нечетко-логического вывода для оборудования с ЧПУ [Текст] / А. В. Анциферов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы 9-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 28-29.

15. Анциферов, А.В. Алгоритм высокоскоростной обработки деталей на основе нечеткой логики[Текст] / А. В. Анциферов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2012: материалы 10-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 182-183.

16. Анциферов, А.В. Адаптивный мультисетевой алгоритм нечетко-логического вывода для оборудования с ЧПУ[Текст] / А. В. Анциферов, М. В. Бобырь // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2012: материалы 10-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 186-188.

17. Анциферов, А.В. Адаптивный мультисетевой алгоритм нечетко-логического вывода [Текст] / А. В. Анциферов // Информационные системы и технологии: материалы 1-ой региональной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 178-179.

18. Анциферов, А.В. Адаптивный алгоритм нечетко-логического вывода для оборудования с ЧПУ [Текст] / А. В. Анциферов // Новые информационные технологии и системы: материалы 10-ой международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГУ, 2012. – С. 336-338.

19. Анциферов, А.В. Алгоритм управления скоростью резания на оборудовании с ЧПУ [Текст] / А. В. Анциферов, М. В. Бобырь // Машиностроение – основа технологического развития России. ТМ-2013: материалы 5-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2013. – С. 178-181.

20. Анциферов, А.В. Автоматизированная система управления высокоскоростной обработкой изделий на оборудовании с ЧПУ [Текст] / А. В. Анциферов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2013: материалы 11-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2013. – С. 304-306.