

На правах рукописи

Акульшин Григорий Юрьевич

**НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ И
ДИАГНОСТИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЗАЖИМНЫХ
УСТРОЙСТВ**

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, профессор,
заслуженный деятель науки
Российской Федерации
Титов Виталий Семёнович

Официальные оппоненты: **Проталинский Олег Мирославович**
доктор технических наук, профессор,
Астраханский государственный технический
университет, первый проректор-проректор по
учебно-воспитательной работе

Емельянов Иван Павлович
кандидат технических наук,
Юго-Западный государственный университет,
и. о. заведующего кафедрой автомобилей,
транспортных систем и процессов

Ведущая организация: Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО
«Владимирский государственный
университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых»

Защита диссертации состоится «26» ноября 2013 г. в 16⁰⁰ 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. Зажимные устройства являются одним из важнейших механизмов машиностроительного оборудования, существенно влияющим на точность системы обработки заготовок. В настоящее время отечественные предприятия широко используют цанговые, кулачковые, рычажные приспособления, в то время как за рубежом применяют для закрепления заготовок и инструментов на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) гидропластовые и термозажимные устройства. При этом в ходе эксплуатации у станочных приспособлений возникают неисправности, которые приводят к погрешностям, ухудшающим качество выпускаемой продукции. Данные погрешности обусловлены снижением жесткости и силы зажима заготовки или инструмента, низкой точностью их закрепления и центрирования, дисбалансом зажимной системы, биением заготовки или инструмента, а также вибрационными нагрузками.

Проблема состоит в том, что диагностика зажимных устройств традиционными методами не позволяет оперативно получить объективную информацию о техническом состоянии оборудования, на основе которой можно обеспечить обслуживание, ремонт или настройку, когда она имеет неопределенный характер. Это приводит к уменьшению производительности обработки изделий на станках с ЧПУ, так как увеличиваются временные затраты на поиск причин неисправной работы устройств фиксации, а следовательно и среднее время цикла обработки. Кроме того, существующие методы диагностики станочных приспособлений используют большой объем данных для формализации, что также снижает оперативность принятия решения о наличии неисправности и ее характере. В целях снижения временных затрат на диагностику зажимных устройств и перспективы увеличения производительности обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности целесообразно использовать методы принятия решения в условиях неопределенности, одним из которых является обратный нечетко-логический вывод, отличающийся высокой скоростью обработки данных. Поэтому весьма актуальна научно-техническая задача разработки нечетко-логических моделей, алгоритмов контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, позволяющих увеличить оперативность принятия решения о причине неисправностей устройств фиксации и повысить производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности.

Диссертационная работа выполнена в Юго-Западном государственном университете при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, государственного контракта № 14.740.11.1003 и Государственного задания «Разработка теоретических основ и алгоритмов адаптации сложных технических систем с прогнозированием вероятных состояний», соглашение № 7.3522.2011.

Цель диссертационной работы: повышение производительности обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности путём создания обобщенной нечетко-логической математической модели контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Анализ факторов, приводящих к неисправностям зажимных устройств, существующих методов и средств их диагностики.
2. Разработка обобщенной нечетко-логической математической модели контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств.
3. Разработка унифицированных алгоритмов диагностики и принятия решения о неисправности автоматизированных зажимных устройств.
4. Синтез структурно-функциональной организации нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств.
5. Проведение экспериментальных исследований с целью оценки производительности обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности с использованием разработанной обобщенной нечетко-логической математической модели контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств и подтверждения ее адекватности.

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

– обобщенная нечетко-логическая математическая модель контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, отличающаяся исключением логической противоречивости в системе уравнений, позволяющая увеличить оперативность принятия решения о неисправности, вызвавшей сбой в работе устройства фиксации;

– унифицированные алгоритмы диагностики и принятия решения о неисправности автоматизированных зажимных устройств, отличающиеся нечетко-логической обработкой данных о состоянии станочных приспособлений, позволяющие в реальном времени определить их неисправность по информации, поступающей с системы активного контроля станка с ЧПУ;

– структурно-функциональная организация нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, особенностью которой является использование обратного нечетко-логического вывода для принятия решений о причинах возникновения неисправностей приспособлений, позволяющая повысить производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использованы теоретические основы автоматического управления, нечеткой логики и множеств, аппарата матричной алгебры, теоретические положения современной технологии машиностроения, а также методы вычислительной математики и математической статистики.

Практическая ценность работы:

1. Обобщенная нечетко-логическая математическая модель контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств может найти широкое применение при создании систем контроля и диагностики станочных приспособлений производственного оборудования.

2. Унифицированные алгоритмы диагностики и принятия решения о неисправности автоматизированных зажимных устройств обеспечивают автоматическое определение причин неисправностей станочных приспособлений и могут служить основой для дальнейшей разработки прикладных программ.

3. Созданная структурно-функциональная организация нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств позволяет повысить производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности (Патент РФ №2470739).

Практическая ценность и научная новизна полученных результатов подтверждены двумя патентами РФ на изобретения и актами внедрения.

Реализация и внедрение. Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены в экспериментальном порядке в ОАО «Электроагрегат», а также используются в учебном процессе кафедры «Вычислительная техника» Юго-Западного государственного университета в рамках дисциплин «Теория принятия решений» и «Теория нечеткой логики и множеств», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Содержание диссертации соответствует п.14 «Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования, (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП и др.» паспорта специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты исследования по теме диссертации докладывались и получили положительную оценку на 11 международных и всероссийских научно-технических конференциях: «Интеллектуальные и информационные системы» (Тула, 2011), «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации» (Курск, 2012, 2013), «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2012, 2013), «Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы» (Курск, 2011), «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях» (Курск, 2011), «Системы, методы, техника и технологии обработки медиаконтента» (Москва, 2011), «Автоматизация и энергосбережение машино-строительного и металлургического производств» (Вологда, 2012), «Новые информационные технологии и системы» (Пенза, 2012), «Информационные системы и технологии» (Курск, 2012), а также на научно-технических семинарах

кафедры «Вычислительная техника» Юго-Западного государственного университета (КурскГТУ) с 2008 по 2013 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 3 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 [3,7,12,13,14] разработана обобщенная нечетко-логическая математическая модель диагностики автоматизированных зажимных устройств, в [2,11,18,19] - унифицированные алгоритмы диагностики и принятия решения о неисправности автоматизированных зажимных устройств, в [1,4,5,6,8] - структурно-функциональная организация нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, позволяющая повысить производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 122 наименований и приложения. Работа изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков, 11 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 проведен анализ факторов, приводящих к неисправностям зажимных устройств, а также рассмотрены существующие методы и средства их диагностики.

В ходе анализа выявлено, что основными факторами возникновения неисправностей станочных приспособлений, являются снижение зажимного усилия, низкая точность установки заготовки или инструмента, усталостные разрушения технологических элементов вследствие вибрации, дисбаланс зажимной системы, деформации поверхности закрепленного объекта, биение заготовки или инструмента. Вместе с тем установлено, что существующие модели и методы диагностики зажимных устройств не позволяют оперативно получить объективную информацию о неисправностях, когда они имеют неопределенный характер, что обусловлено сложностью процесса исключения логической противоречивости данных, используемых для анализа. Кроме того, традиционные методы диагностики станочных приспособлений используют большой объем данных для формализации, что также снижает оперативность принятия решения о наличии неисправности и ее характере. Все это приводит к увеличению временных затрат на поиск причин неисправной работы устройств фиксации и уменьшению производительности обработки изделий на станках с ЧПУ.

На основе результатов анализа обоснованы направления повышения оперативности принятия решения в системах диагностики станочных приспособлений для увеличения производительности обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности, к которым относятся необходимость разработки обобщенной нечетко-логической математической модели контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, унифицированных алгоритмов диагностики и принятия решения о неисправности автоматизированных зажимных устройств, структурно-функциональной организации нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств.

Во второй главе разработана обобщенная нечетко-логическая математическая модель контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств $M_{ДАЗУ}$, которая позволяет повысить оперативность принятия решения о причине возникновения неисправностей в работе технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (ТССПИД), имеющих неопределенный характер, и как следствие, уменьшить временные затраты на диагностику и увеличить производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности.

Обобщенная нечетко-логическая математическая модель $M_{ДАЗУ}$ включает в себя частную математическую модель логической оценки неисправностей $M_{ЛОИ}$ и частную математическую модель обратного нечетко-логического вывода о причинах возникновения неисправностей автоматизированных зажимных устройств $M_{ОНВ}$.

Процесс логического определения влияния предпосылок на неисправности автоматизированного зажимного устройства, описанный при помощи частной математической модели $M_{ЛОИ}$, включает следующие этапы:

1. Определение множества предпосылок $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ -причин неисправностей, и множества заключений $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_m\}$ -проявлений неисправностей в работе автоматизированных зажимных устройств машиностроительного оборудования.

2. Оценка экспертом влияния предпосылки на неисправность в работе зажимного устройства в интервале значений от 0 до 1 и формирование матрицы коэффициентов, задаваемых экспертом на основе нечеткого отношения

$$M = \{(\langle p_i; z_j \rangle, a_{ij}) | \langle p_i; z_j \rangle \in A\}, \quad (1)$$

$$a_{ij} : P \times Z \rightarrow [0, 1], \quad (2)$$

где a_{ij} – степень функции принадлежности (коэффициент) нечеткого отношения M , которая отображает область определения матрицы коэффициентов A на непрерывный интервал $[0, 1]$ (рисунок 1).

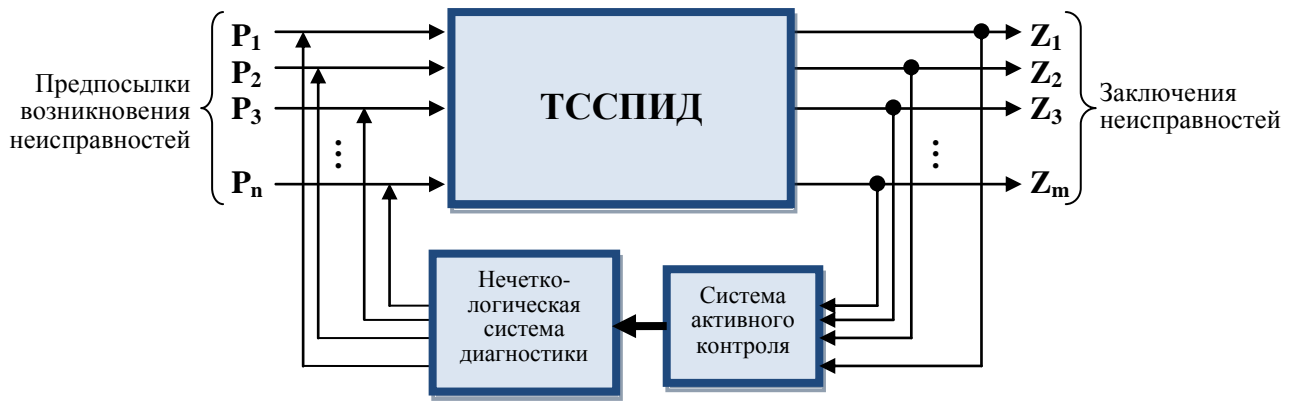


Рис. 1. Схема диагностики неисправностей зажимных устройств

3. Построение функций принадлежности заключений неисправностей и определение степени истинности значений, поступающих с системы активного контроля производственного оборудования.

Для этого используются линейная Z-образная функция (рисунок 2, а) и линейная S-образная функция (рисунок 2, б) принадлежности, представленные в виде:

$$\begin{aligned} &\text{Z-образная функция} \\ f_{\downarrow}(z; x, y) = &\begin{cases} 1, & z \leq x \\ \frac{y-z}{y-x}, & x < z < y, \\ 0, & y \leq z \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &\text{S-образная функция} \\ f_{\uparrow}(z; x, y) = &\begin{cases} 0, & z \leq x \\ \frac{z-x}{y-x}, & x < z < y, \\ 1, & y \leq z \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

где x, y — числовые параметры, принимающие произвольные действительные значения и упорядоченные отношением $x < y$.

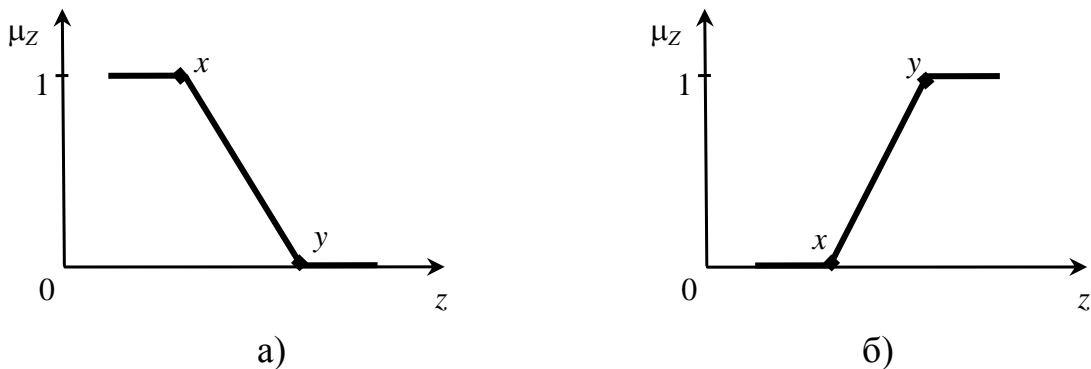


Рис. 2. Z-образная (а) и S-образная (б) функции принадлежности

Математическая модель $M_{\text{ЛОН}}$ базируется на выражениях (1)÷(4).

Процесс принятия решений о причинах возникновения неисправностей автоматизированных зажимных устройств описан с помощью частной математической модели обратного нечетко-логического вывода $M_{ОНВ}$, основанной на композиционном правиле Заде

$$A \circ P = Z, \quad (5)$$

где A – матрица коэффициентов, задаваемая экспертом в конкретной предметной области; P – предпосылки нечетко-логического вывода; Z – заключения нечетко-логического вывода.

Правило (5) нечеткого вывода реализовано в виде максиминной композиции

$$\begin{aligned} (a_{11} \wedge p_1) \vee (a_{12} \wedge p_2) \vee \dots \vee (a_{1n} \wedge p_n) &= z_1 \\ (a_{21} \wedge p_1) \vee (a_{22} \wedge p_2) \vee \dots \vee (a_{2n} \wedge p_n) &= z_2 \\ &\vdots \\ (a_{m1} \wedge p_1) \vee (a_{m2} \wedge p_2) \vee \dots \vee (a_{mn} \wedge p_n) &= z_m \end{aligned} \quad (6)$$

где $j = 1 \dots m$, m – количество заключений нечетко-логического вывода; $i = 1 \dots n$, n – количество предпосылок нечетко-логического вывода, \wedge – операция нахождения минимума; \vee – операция нахождения максимума.

Процесс автоматического определения причины неисправностей станочного приспособления включает в себя следующие этапы:

1. Построение матриц коэффициентов A ($a_{ij} \in [0, 1]$), определенных экспертом на основе нечеткого отношения (2), и заключений нечетко-логического вывода Z ($z_j \in [0, 1]$) с помощью композиционного правила Заде (5)

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ & & \vdots & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_m \end{bmatrix}. \quad (7)$$

2. Нормализация матриц A и Z , заключающаяся в перестановке строк матриц таким образом, чтобы строки с минимальным значением коэффициента z_j располагались внизу нормализованных матриц A_{norm} и Z_{norm} , при выполнении данной операции значения коэффициентов a_{ij} и z_j не изменяются, а меняются только номера строк

$$Z_{norm} = \begin{bmatrix} z_m > z_{m-1} \\ \vdots \\ z_j > z_{\min} \\ \vdots \\ z_{\min} \end{bmatrix}, \quad A_{norm} = \begin{bmatrix} a_{11}^{norm} & a_{12}^{norm} & \dots & a_{1n}^{norm} \\ a_{21}^{norm} & a_{22}^{norm} & \dots & a_{2n}^{norm} \\ & & \vdots & \\ a_{m1}^{norm} & a_{m2}^{norm} & \dots & a_{mn}^{norm} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

3. Изменение коэффициентов нормализованной матрицы A_{norm} определяется с учетом

$$a_{ij}^{norm} = \begin{cases} 0, & \text{если } a_{ij} < z_j \\ z_j, & \text{если } a_{ij} = z_j \\ 1, & \text{если } a_{ij} > z_j. \end{cases} \quad (9)$$

4. Проверка условия возможности решения задачи диагностики о нахождении причин неисправностей зажимных устройств. С этой целью в каждой строке нормализованной матрицы A_{norm} рассчитывается значение счетчика k_j , который увеличивается на 1 при выполнении условия $z_j \leq a_{ij}$. Если значение счетчика после проверки всех условий равно нулю $k_j=0$, то принимается решение о невозможности решения задачи диагностики. Чтобы решение задачи диагностики было достигнуто, необходимо увеличивать или уменьшать значение коэффициента a_{ij} на величину 0,1 до тех пор, пока не будет выполняться условие $k_j \geq a_{ij}$. Кроме того необходимо проверить матрицы (7) на логическую непротиворечивость выводимых результатов, которая заключается в следующей последовательности действий:

- а) нахождение столбца в матрице A_{norm} , где $a_{ij} \geq z_j$;
- б) проверка условия $a_{ij} \leq z_j$ в найденном столбце для всех возможных решений.

5. Формирование матрицы элементов p'_i предпосылок нечетко-логического вывода начинается с нижней строки нормализованной матрицы A_{norm} с учетом следующих правил:

$$p'_i = \begin{cases} p_i = 0, & \text{если } a_{ij} = 0, \text{ переход к верхней строке;} \\ p_i = z_j, & \text{если } a_{ij} = z_j, \text{ переход к верхней строке;} \\ \text{если в следующей строке } a_{ij} = 0 \text{ то } p_i \text{ не изменяется;} \\ p_i = z_j, & \text{если } a_{ij} = 1, \text{ переход к верхней строке;} \\ \text{и } p_i \text{ больше не изменяется.} \end{cases} \quad (10)$$

6. Формирование вектора выходных значений $P_{вых}$. Результат выполнения данной операции находится в верхней строке матрицы p'_i .

7. Принятие решения о неисправности, вызвавшей сбой в работе автоматизированного зажимного устройства.

Математическая модель $M_{ОНВ}$ базируется на выражениях (5)÷(10).

Разработанная обобщенная нечетко-логическая математическая модель контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств $M_{ДАЗУ}$ в реальном времени определяет по информации, поступающей от системы активного контроля станка с ЧПУ, наличие неисправностей в работе устройств фиксации, устанавливает их характер и делает вывод о причине возникновения неисправностей. Необходимо отметить, что разработанная обобщенная нечетко-логическая математическая модель $M_{ДАЗУ}$, позволяет выполнять диагностику неисправностей различных зажимных устройств, применяемых в промышленности.

В третьей главе разработаны унифицированные алгоритмы диагностики и принятия решения о неисправности автоматизированных зажимных устройств, синтезирована структурно-функциональная организация нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств.

Алгоритм диагностики автоматизированных зажимных устройств представлен на рисунке 3.

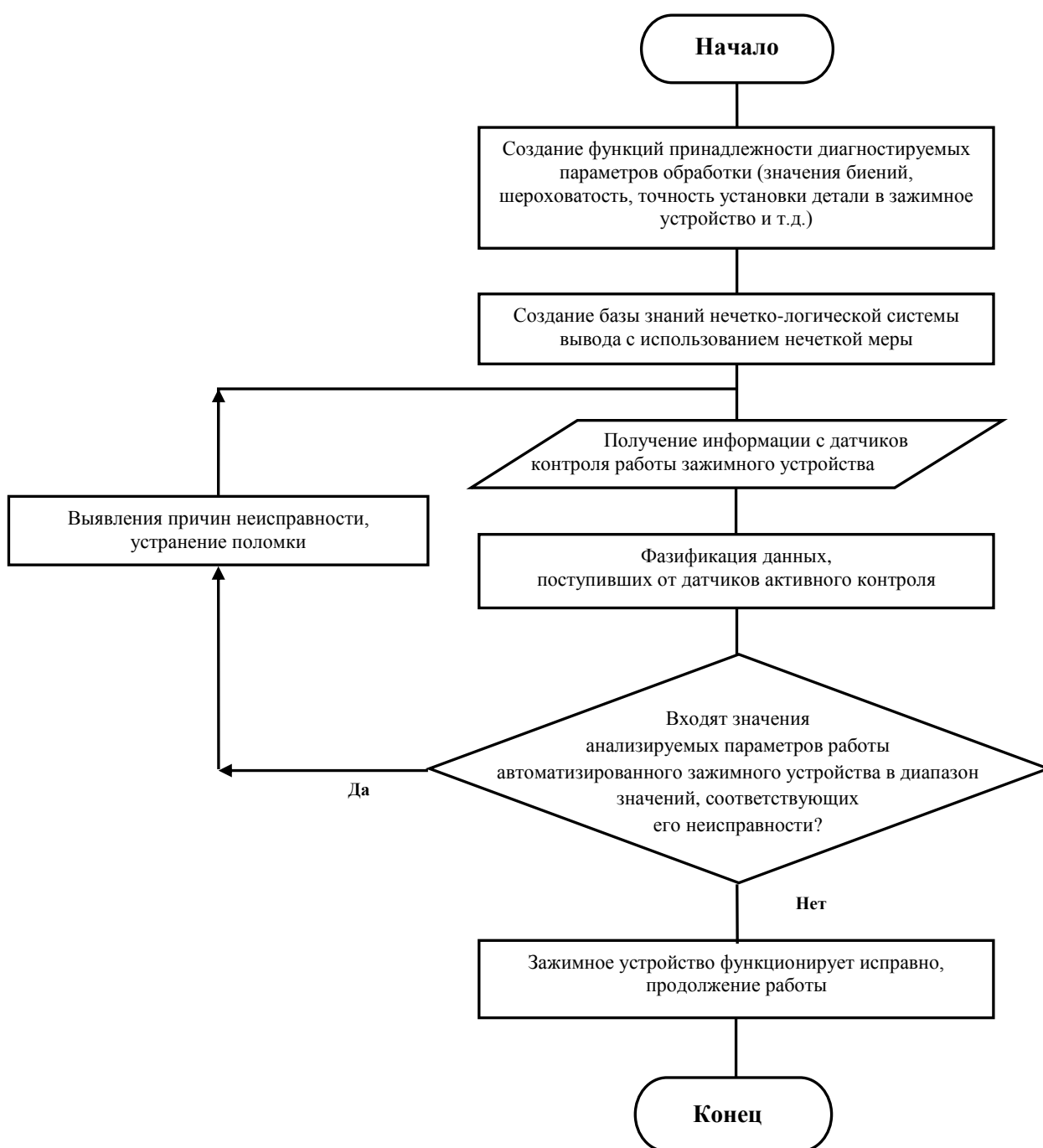


Рис. 3. Алгоритм диагностики автоматизированных зажимных устройств

Процесс определения причин возникновения неисправностей автоматизированных зажимных устройств выполняется в том случае, когда значения анализируемых параметров работы приспособления не входят в диапазон значений, которые соответствуют его исправной работе, и представлен в виде алгоритма, изображенного на рисунке 4.

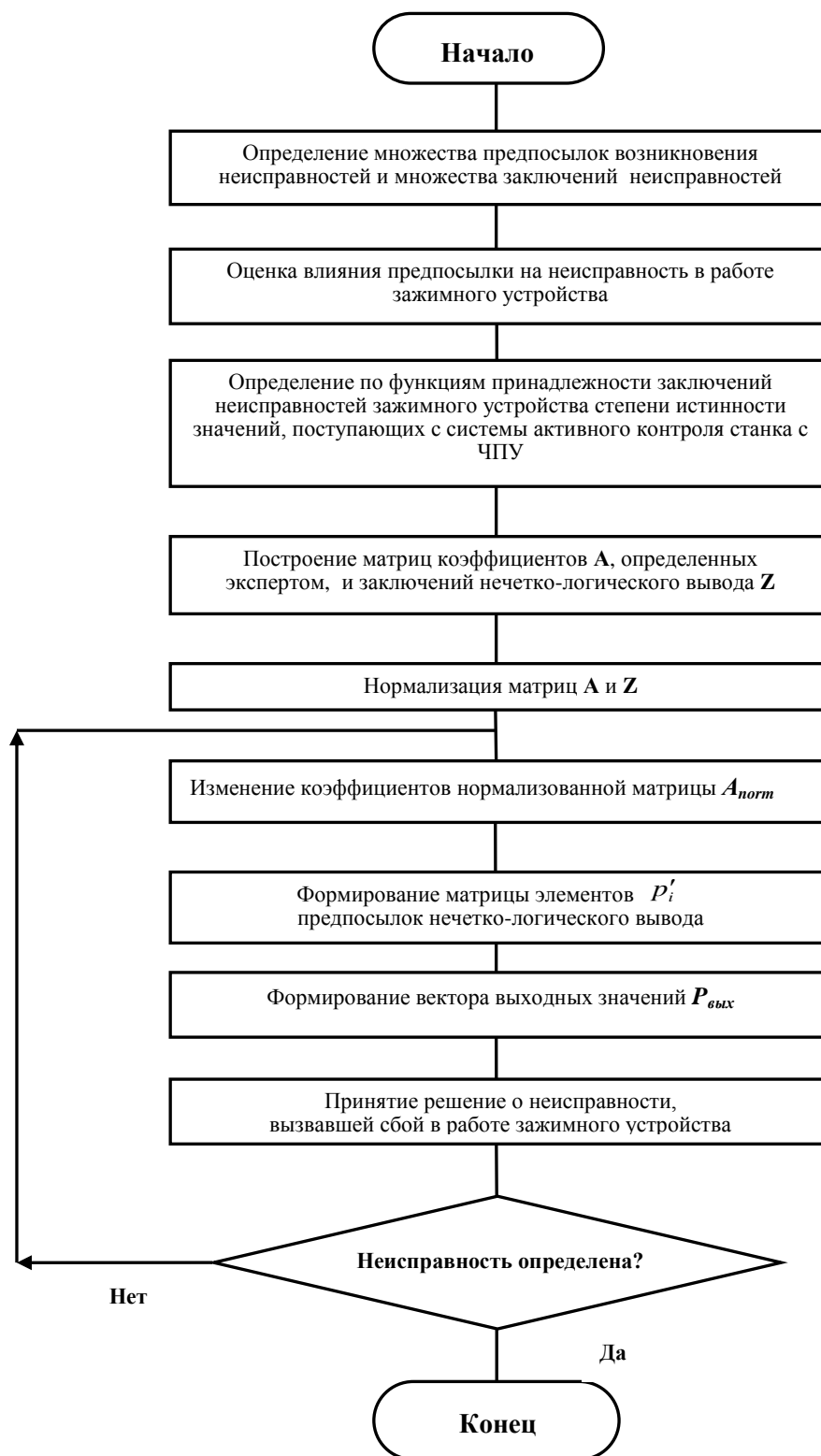


Рис. 4. Алгоритм принятия решения о неисправности автоматизированных зажимных устройств

В ходе выполнения диссертационной работы с целью повышения точности обработки изделий и производительности автоматических линий была синтезирована структурно-функциональная организация нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств [Патент РФ № 2470739], представленная на рисунке 5.

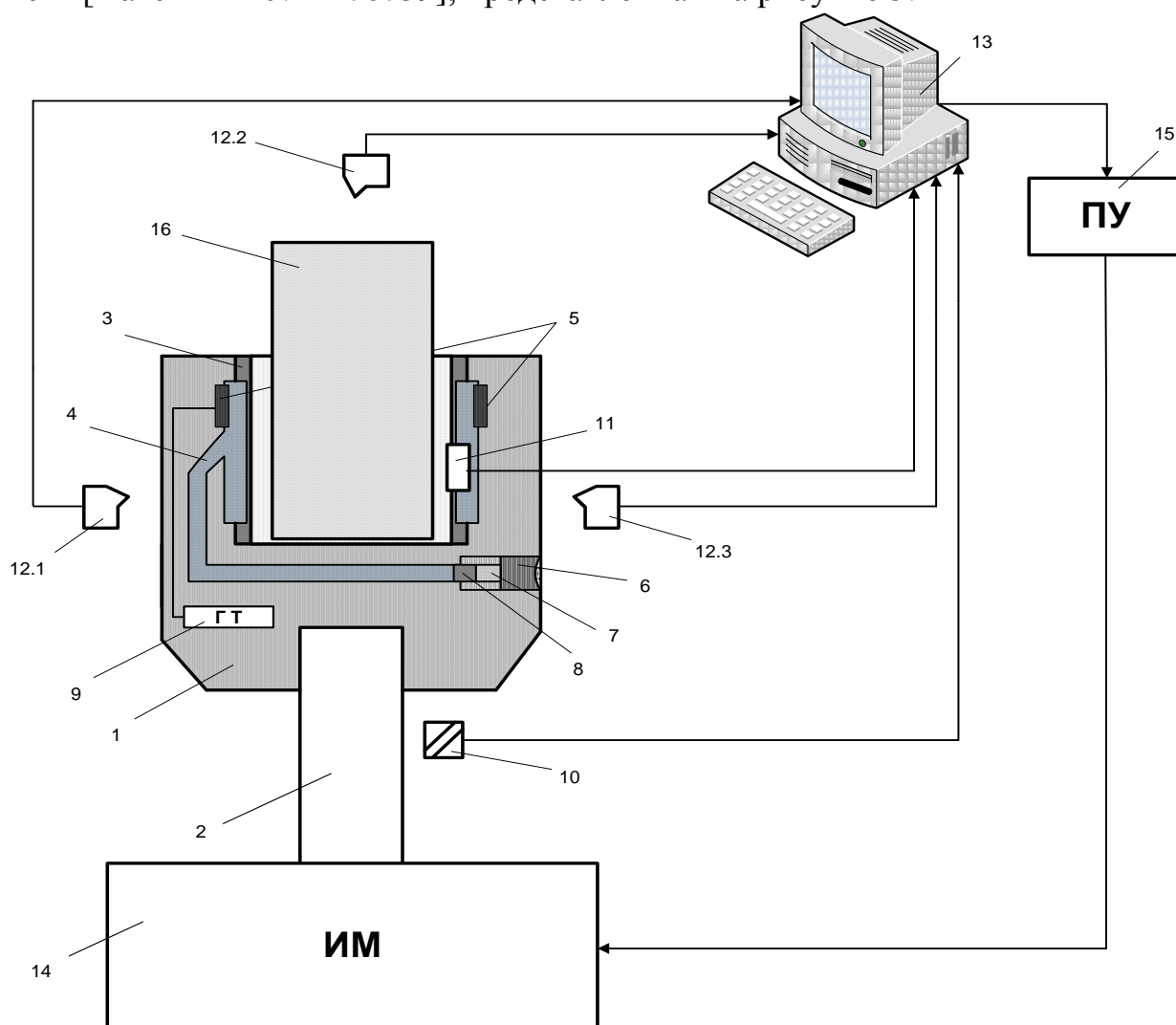


Рис. 5. Структурно-функциональная организация нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, где 1 - корпус патрона с каналами и карманом; 2- шток привода; 3- эластичная зажимная втулка; 4 - электровязкая суспензия; 5 - электроды; 6 - затяжной винт; 7 - зажимной штифт; 8 - поршень давления; 9 - генератор тока; 10 - датчик температуры; 11 - динамометрический датчик; 12.1, 12.2 и 12.3 - лазерные датчики; 13 - ЭВМ; 14 - исполнительные механизмы станка с ЧПУ (ИМ); 15 - пульт управления производственного оборудования (ПУ); 16 - деталь или хвостовик инструмента

Нечетко-логическая система контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств функционирует следующим образом. Деталь или хвостовик инструмента 16 устанавливается в полость эластичной зажимной втулки 3 и зажимается путем закручивания затяжного

винта 6, при этом значения усилия зажима определяются динамометрическим датчиком 11 и передаются в ЭВМ 13. После этого срабатывает генератор тока 9 и электровязкая суспензия 4, контактирующая с электродами 5, под действием прямого тока переходит в твердое состояние (электрореологический эффект). Запускается процесс обработки, в ходе которого в ЭВМ 13 поступает информация с датчиков активного контроля, содержащая в себе параметры работы автоматизированного зажимного устройства. После ее обработки с использованием обобщенной нечетко-логической математической модели $M_{ДАЗУ}$ в случае выявления неисправности в работе устройства фиксации, определяется причина ее возникновения, а затем посылается сигнал на пульт управления производственного оборудования 15 с описанием неисправности. После этого, с пульта управления 15 в целях предотвращения погрешностей обработки изделий подается сигнал корректировки или остановки процесса обработки на исполнительные механизмы 14 станка с ЧПУ.

Таким образом, разработанные унифицированные алгоритмы и нечетко-логическая система контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств позволяют в реальном времени выявлять неисправности станочных приспособлений, определять их причину и тем самым повышать производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований с целью оценки производительности обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности с использованием обобщенной нечетко-логической математической модели контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств.

В ходе проведения эксперимента определен объем выборки партии заготовок (30 шт.) с использованием описанной в трудах Я.Д. Колкера номограммы, определяющей зависимость между объемом выборочной совокупности, точностью и надежностью. Данный объем партии заготовок достаточен для экспериментальных исследований. Эффективность работы нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств на основе $M_{ДАЗУ}$ оценивалась по двум показателям: производительности обработки изделий $\Pi(t)$ и вероятности безотказной работы $Q(t)$

$$\Pi(t) = \frac{N_{\text{и}}}{T} \rightarrow \max, \quad (11)$$

$$Q(t) = N_o / N_{\text{и}} \rightarrow 1, \quad (12)$$

где $T = t_o + t_e$ - среднее время полного цикла обработки партии заготовок на производственном оборудовании (рисунок 6), t_o - время обработки, t_e - время на все виды вспомогательных операций, не совмещенных по времени с обработкой, N_o - количество определенных неисправностей, $N_{\text{и}}$ - количество обработанных заготовок.

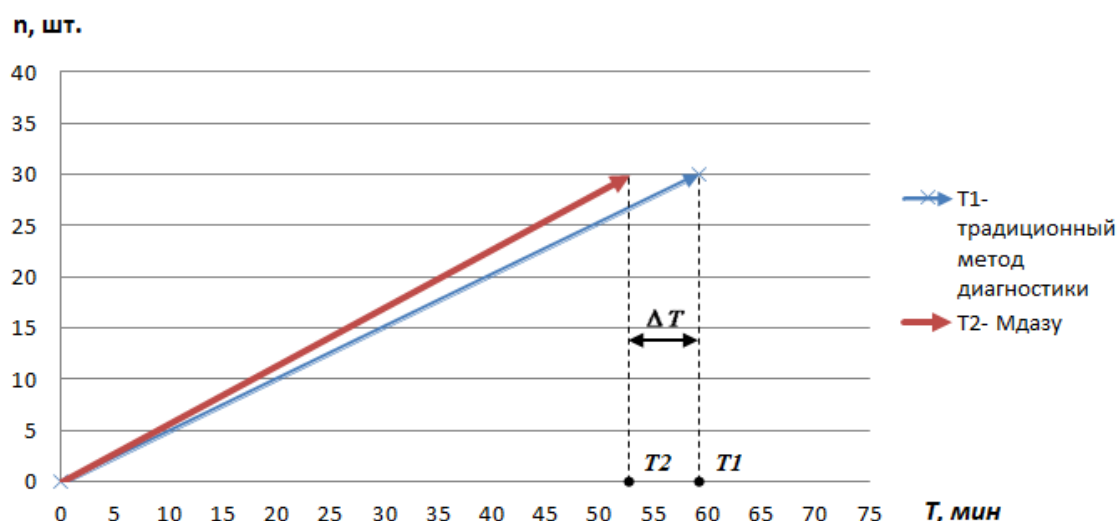


Рис. 6. Оценка производительности обработки изделий на производственном оборудовании

Результаты статистической обработки данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Сравнительные результаты экспериментальных исследований

Метод диагностики Параметры	Традиционный метод диагностики	Диагностика с использованием $M_{ДАЗУ}$	Сравнение результатов
Время полного цикла обработки партии заготовок объемом 30 шт. T (мин.)	59,17	52,8	Уменьшение времени цикла обработки на 6,37
Производительность обработки изделий $P(t)$ (шт./мин)	0,507	0,568	Увеличение производительности на 12%
Вероятность безотказной работы, $Q(t)$	0,9	0,966	Увеличение на 7,3%

По результатам исследований сделан вывод, что с использованием обобщенной нечетко-логической математической модели контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств $M_{ДАЗУ}$ производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности увеличивается на 12%, что свидетельствует о научно-технической ценности работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи разработки нечетко-логических моделей, алгоритмов контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, позволяющих увеличить оперативность принятия решения о причине неисправностей устройств фиксации и повысить производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности.

В ходе решения данной задачи получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ факторов, приводящих к неисправностям зажимных устройств, рассмотрены существующие методы и средства их диагностики.

2. Разработана обобщенная нечетко-логическая математическая модель контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, отличающаяся исключением логической противоречивости в системе уравнений, позволяющая увеличить оперативность принятия решения о неисправности, вызвавшей сбой в работе устройства фиксации.

3. Разработаны унифицированные алгоритмы диагностики и принятия решения о наличии неисправности автоматизированных зажимных устройств, отличающиеся нечетко-логической обработкой данных о состоянии устройств фиксации, позволяющие в реальном времени определить их неисправность по информации, поступающей с системы активного контроля станка с ЧПУ.

4. Синтезирована структурно-функциональная организация нечетко-логической системы контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств, особенностью которой является использование обратного нечетко-логического вывода для принятия решений о причинах возникновения неисправностей устройств фиксации, позволяющая повысить производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности.

5. Проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили адекватность разработанной обобщенной нечетко-логической математической модели контроля и диагностики автоматизированных зажимных устройств. Экспериментально установлено, что производительность обработки изделий на производственном оборудовании при заданной точности увеличивается на 12%.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Акульшин, Г.Ю. Система фиксации деталей на основе электрореологического эффекта / Г. Ю. Акульшин, М. В. Бобырь, Т. А. Ширабакина // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 47-51.
2. Акульшин, Г.Ю. Автоматизированная самонастраивающаяся система управления температурными деформациями / В. С. Титов, М. В. Бобырь, Г. Ю. Акульшин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2. – Ч.1. – С.40-47.
3. Акульшин, Г.Ю. Моделирование нечетко-логических систем управления на основе мягких арифметических операций / М. В. Бобырь, В. С. Титов, Г. Ю. Акульшин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. – № 3. – С. 29-35.

Патенты

4. Пат. 2470756 Российская Федерация, МПК⁷ В23Q 3/00. Устройство крепления деталей сложной формы для оборудования с ЧПУ [Текст] / М. В. Бобырь, В. С. Титов, Г. Ю. Акульшин, В.А. Горбунов; заявитель и патентообладатель: Юго-Западный государственный университет. – №2011107673/02; заявл. 28.02.11; опубл. 27.12.12, Бюл. №36. – 7 с.:ил.
5. Пат. 2470739 Российская Федерация, МПК⁷ В23В 31/28. Электрореологический патрон для закрепления инструментов и деталей [Текст] / Г. Ю. Акульшин, В. С. Титов, М. В. Бобырь, А. В. Бобырь; заявитель и патентообладатель: Юго-Западный государственный университет. – №2011113920/02; заявл. 08.04.11; опубл. 27.12.12, Бюл. №36. – 5 с.:ил.

Прочие публикации

6. 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 №1.4.4 Алгоритм нечеткого вывода Ларсена. – С.68-69.
7. 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 №1.2.4.2 Формализация нечетких баз знаний. – С.32-34.
8. Акульшин, Г. Ю. Анализ автоматических зажимных приспособлений [Текст] / Г. Ю. Акульшин, М. В. Бобырь // Инновации, качество и сервис в технике и технологии – 2011: материалы 2-ой международной научно-практической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 14-16.
9. Акульшин, Г. Ю. Автоматизация процесса работы зажимных устройств [Текст] / Г. Ю. Акульшин // Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы. Диагностика: материалы 2-ой

международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 159.

10. Акульшин, Г. Ю. Алгоритм работы оптико-электронной системы [Текст] / Г. Ю. Акульшин // Системы, методы, техника и технологии обработки медиаконтента: материалы научно-технической международной молодежной конференции. – Москва, 2011. – С. 6.

11. Акульшин, Г. Ю. Алгоритм работы системы управления при высокоскоростной обработке [Текст] / Г. Ю. Акульшин, В. С. Титов // Интеллектуальные и информационные системы. Интеллект: материалы всероссийской научно-технической конференции. – Тула: ТулГУ, 2011. – С. 111-113.

12. Акульшин, Г. Ю. Система управления электрореологическим патроном [Текст] / Г. Ю. Акульшин, В. С. Титов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы седьмой международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – С. 42-43.

13. Акульшин, Г. Ю. Автоматизация процесса минимизации погрешностей обработки на станках с ЧПУ [Текст] / Г. Ю. Акульшин, М. В. Бобырь, В. С. Титов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы 9-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 19-21.

14. Акульшин, Г. Ю. Применение алгоритма Тсукамото для улучшения характеристик работы станков с ЧПУ [Текст] / Г. Ю. Акульшин, В. С. Титов, М. В. Бобырь // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2012: материалы 10 международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 172-174.

15. Акульшин, Г. Ю. Алгоритм работы системы контроля качества обработки деталей [Текст] / Г. Ю. Акульшин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2012: материалы 10 международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 174-175.

16. Акульшин, Г. Ю. Нечетко-логическая система управления работой электрореологического патрона [Текст] / Г. Ю. Акульшин // Новые информационные технологии и системы: материалы 10-ой международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГУ, 2012. – С. 83-86.

17. Акульшин, Г. Ю. Автоматизированная нечетко-логическая система управления работой электрореологического патрона [Текст] / Г. Ю. Акульшин // Информационные системы и технологии: материалы 1-ой региональной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 139-141.

18. Акульшин, Г. Ю. Алгоритм работы системы диагностики зажимных устройств [Текст] / Г. Ю. Акульшин, М. В. Бобырь // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации:

материалы 10-ой международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2013. – С. 37-39.

19. Акульшин, Г.Ю. Автоматизированная система управления зажимом детали [Текст] / Г.Ю. Акульшин, М. В. Бобырь // 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. 297-300.

