

На правах рукописи

ЗАРИПОВ Альберт Рифович

**АЛГОРИТМЫ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНО-СИЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ
ПРОЦЕССА МЕХАНООБРАБОТКИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

**Специальность: 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(в промышленности)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2008

Работа выполнена на кафедре автоматизации технологических процессов
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель д-р техн. наук, проф.
Зориктуев Вячеслав Цыденович

Официальные оппоненты д-р техн. наук, проф.
Веревкин Александр Павлович
канд. техн. наук, доц.
Ганцев Рустем Халимович

Ведущая организация ОАО «Институт технологии и
организации производства», г. Уфа

Защита состоится 16 декабря 2008 г. в 10-00 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан « ____ » ноября 2008 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

В. В. Миронов

ЗАРИПОВ Альберт Рифович

АЛГОРИТМЫ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНО-СИЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ
ПРОЦЕССА МЕХАНООБРАБОТКИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 13.11.2008. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 525.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эффективность работы современного машиностроительного производства во многом определяется достигнутым уровнем его автоматизации. Основные задачи, стоящие перед станкостроением, сводятся к повышению производительности, точности обработки и надежности металлорежущих станков. В настоящее время требования к повышению эффективности машиностроительного производства решаются за счет создания станочных модулей с новыми показателями, позволяющими повысить точность обработки деталей, быстродействие управления, уменьшить перерегулирование, добиться оптимальных режимов обработки.

Известно, что эксплуатационные свойства деталей определяются температурно-силовыми режимами обработки. Вопросы, связанные с формированием алгоритма автоматического управления температурно-силовыми режимами резания, не получили пока достаточного развития и не могут обеспечить необходимого быстродействия управления и, как следствие, качества и точности обработки деталей.

Следовательно, возникает необходимость создания систем управления с требуемыми показателями по точности, качеству обработки деталей и быстродействию управления. Особое внимание следует обратить на обрабатываемый инструмент, который в процессе резания подвергается существенным нагрузкам. Инструмент, являясь основным звеном в процессе резания, одновременно претерпевая его воздействия, является наиболее уязвимым элементом всей станочной системы. Решением этой проблемы является разработка новых или совершенствование существующих систем управления (СУ), которые позволяют осуществить, в условиях малолюдной технологии и многономенклатурного производства, автоматическое определение и управление требуемых температурно-силовых режимов обработки резанием для получения заданных параметров качества обработанной поверхности детали.

Анализ технологических особенностей управления процессом резания (ПР) позволил установить, что существующие методы управления не удовлетворяют современным требованиям, обеспечивающим необходимое качество и точность обрабатываемой поверхности, а также быстродействие управления.

Помимо этого следует отметить необходимость создания быстродействующих алгоритмов, позволяющих осуществить взаимосвязанное управление по каналам температуры и силы резания в условиях нестационарности процесса резания. Несмотря на продолжительные исследования, проводимые в указанном направлении во многих научных и производственных коллективах нашей страны и за рубежом, проблема создания оперативной системы управления остается нерешенной. Создание методики синтеза алгоритма управления режимами процесса механообработки позволит решить актуальную задачу автоматического управления элементами режима резания.

Решаемые в диссертации вопросы являются составной частью исследований, проводимых кафедрой автоматизации технологических процессов (АТП) Уфимского государственного авиационного технического университета в рамках проекта РФФИ № АТ–ТС–13–08ГФ.

Целью работы является разработка алгоритмов логического управления температурно-силовыми режимами процесса механообработки в условиях неопределенности, обеспечивающих, в реальном масштабе времени, управление, для формирования требуемых эксплуатационных свойств обрабатываемых поверхностей.

Для достижения данной цели поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Разработать методику синтеза алгоритмов логического управления процесса механообработки при обработке деталей в условиях неопределенности.

2. Разработать модели и алгоритмы управления температурно-силовыми режимами процесса механообработки при отдельном и взаимосвязанном управлении в классе логических алгоритмов управления.

3. Оценить эффективность работы разработанных алгоритмов логического управления температурно-силовым режимом процесса механообработки на основе математического моделирования.

Методы исследования. В работе использованы методы системного анализа, теории автоматического управления, дискретной математики, теории резания, теории конечных автоматов.

На защиту выносятся:

1. Методика синтеза алгоритмов логического управления, в основу которого заложены элементы теории конечных автоматов, реализующие разработанный алгоритм взаимодействия различных управляющих и управляемых параметров.

2. Модели и алгоритмы взаимосвязанного логического управления температурно-силовыми режимами процесса механообработки в условиях неопределенности.

3. Анализ результатов математического моделирования работы алгоритмов логического управления температурно-силовыми режимами процесса механообработки и рекомендации по их использованию.

Научная новизна работы

1. Новизна методики синтеза алгоритмов управления процессом механообработки заключается в представлении технологических параметров в интервальных шкалах, что позволяет описать технологический процесс резания через конечно-автоматные модели, обеспечивающий управление режимами работы станочной системы в реальном масштабе времени.

2. Новизна разработанных моделей систем логического управления по температуре и силе резания заключается в использовании ситуационного управления, оперирующего понятием «состояние» и возможностью формирования управляющего воздействия, позволяющего в условиях неопределенности процесса резания, связанных с изменением во времени

физико-химических свойств материала детали и инструмента, обеспечить требуемое качество и точность обрабатываемой поверхности.

3. Новизна алгоритмов логического управления температурно-силовыми режимами процесса механообработки заключается в идентификации его текущего состояния и оперативного управления этим процессом, позволяющего обеспечить требуемое качество обрабатываемой поверхности изготавливаемых деталей.

Практическая ценность полученных результатов

- Разработанная методика синтеза алгоритмов логического управления позволит обеспечить формирование требуемого температурно-силового режима, влияющего на качество обработанной поверхности изготавливаемых деталей.

- Предложенные алгоритмы автоматического управления позволят обеспечить требуемое быстродействие системы управления многосвязным объектом по каналу температуры и силы резания, отражающееся на качестве и точности обработки.

- Результаты моделирования, в ходе которого определены области и условия эффективного применения алгоритмов логического управления в процессе механообработки в металлорежущих станочных системах.

Апробация работы

- Международная научно-техническая конференция «10th International Students Olympiad on Automatic Control» (Baltic Olympiad). Санкт-Петербург, 2004.

- Международная научно-техническая конференция «Мехатроника, автоматизация, управление». Москва, 2005.

- Международная научно-техническая конференция «Автоматизация технологических процессов и производственный контроль». Тольятти, 2006.

- Научно-техническая конференция, посвященная 50-летию кафедры «Металлорежущие станки и инструменты». Пермь, 2006.

- Школа-семинар молодых ученых и аспирантов. Уфа, 2007.

Публикации. Основные положения, выводы и практические результаты изложены в 1 статье рецензируемом журнале из списка ВАК, рекомендованном ВАК, в 4 статьях в журналах и сборниках научных трудов, 1 материалах конференций докладов.

Внедрение результатов работы

Алгоритм управления температурно-силовыми режимами процесса механообработки в условиях неопределенности, рассмотрены и приняты к внедрению в ОАО «УМПО», г. Уфа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Работа содержит 151 страницу машинописного текста и список литературы из 97 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выполненной научной работы, сформулированы цель и задачи исследований, научные положения, выносимые на защиту, отмечена практическая значимость и научная ценность работы.

В первой главе решается задача исследования и анализа современного состояния автоматического управления процессом резания. Обоснована необходимость создания алгоритма взаимосвязанного управления температурными и силовыми параметрами обработки деталей на металлорежущих станках.

В результате исследований было выявлено что, управление только температурным или силовым параметрами процесса обработки (рис. 1) снижает технические возможности станочной системы, что приводит к недоиспользованию ее ресурсов.

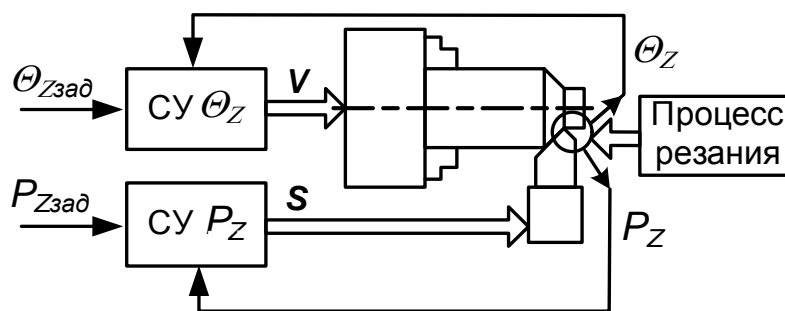


Рисунок 1 – Функциональная схема САУ ПР

Также, анализ результатов эксплуатации разработанных систем управления показал недостаточную их гибкость, связанную с ограничениями технологического процесса и области их применения. Основным недостатком систем управления процессом резания была элементная база, которая не позволяла с необходимой точностью и быстродействием осуществить управление, вследствие чего время переходного процесса и перерегулирование были большие.

В системах автоматического управления (САУ) ПР с непрерывной системой управления силой P_Z , где отсутствует дискретная часть, не обеспечивается надежная защита инструмента от перегрузок на различных этапах процесса резания: момент врезания и приработки, при ступенчатом приращении припуска, при обработке деталей со сложными поверхностями (обработки с эксцентриситетом) и т.д. (рис. 2–3) Интегрирование релейной схемы управления для снятия возникающих нагрузок, обеспечивает снижение величины перерегулирования, что позволяет повысить защиту инструмента. Даже при таком управлении величина перерегулирования остается порядка 10–15%. Регуляторы с постоянными параметрами не могут обеспечить высокие статические и динамические свойства системы при управлении такого стохастического и неустойчивого процесса, как резание.

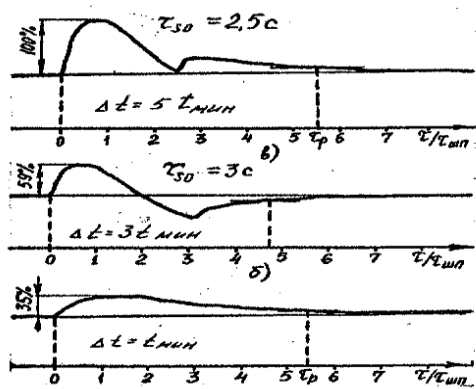


Рисунок 2 – Изменение силы Pz в непрерывной САУ без самонастройки и релейном управлении переходного процесса при ступенчатом приращении припуска на обработку

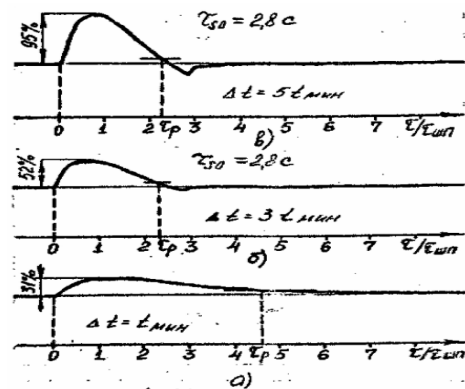


Рисунок 3 – Изменение силы Pz в САУ с самонастройкой и релейном управлении переходного процесса при ступенчатом приращении припуска на обработку

Поэтому с целью повышения эффективности управления техническими объектами необходимо решить две глобальные проблемы управления:

- снизить (или компенсировать) априорную неопределенность об объекте за счет использования текущей информации;
- сформировать алгоритм управления, обеспечивающий устойчивость и заданные показатели качества управления.

Обработка деталей требует создание быстродействующих алгоритмов и СУ, в которых остро встает проблема согласования сигналов с различных иерархических уровней управления.

Для обеспечения необходимого функционирования системы управления необходимо наличие датчиков удовлетворяющих таким критериям как точность измерения, помехозащищенность, быстродействие и т.д. Значительным фактором нестационарности процесса резания являются возмущающие воздействия, возникающие при точении прерывистых поверхностей с пазами и отверстиями, при точении деталей с эксцентриситетом, в период врезания, приработки инструмента и т.д. требуют обоснованного выбора датчиков информации, которые позволят идентифицировать текущее состояние и осуществить обработку. Таким требованиям к датчикам технологического процесса резания в настоящее время удовлетворяет естественная термопара «инструмент-деталь».

Идентификация температуры резания осуществляется при помощи термо-ЭДС, а идентификация силы резания – электропроводимостью контакта «инструмент-деталь» (ЭП КИД). Применение датчиков позволит осуществить поддержание требуемого уровня температуры и силы резания изменением скорости резания и скорости движения инструмента (подача) соответственно.

Также необходимо отметить что в настоящее время управляющая программа, в которой жестко заданы технологические параметры ПР ограничивает возможности станочной системы. Неопределенности, связанные с дефицитом информации о возможных колебаниях припуска заготовки, о величине износа режущей кромки инструмента и его геометрии, приводят к

тому, что режимы механообработки назначают исходя из наиболее нагруженных условий обработки.

При программировании режимов резания не учитываются особенности обработки конкретной детали. Кроме того, в «жесткой» системе не учитывается влияние непрерывно изменяющихся внешних воздействий и параметров станочной системы, определяющих в большой степени производительность и точность обработки. Недостатки существующих систем управления режимами резания для микропроцессорных систем ЧПУ является отсутствие необходимого алгоритма управления.

Вследствие проведенного анализа был предложен алгоритм управления режимами резания, основой которого было объединение каналов управления температурой и силой резания (рис. 4).

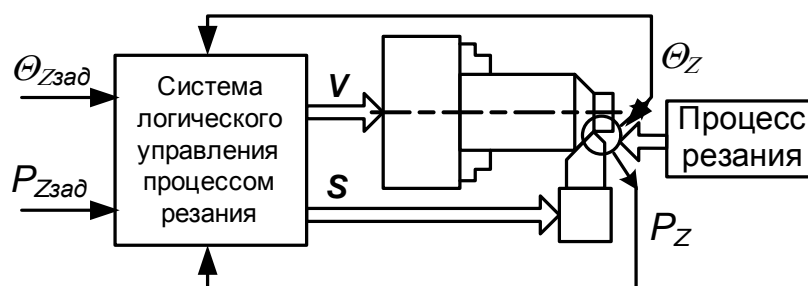


Рисунок 4 – Функциональная схема САУ ПР с применением алгоритма логического управления

Разработка алгоритмов логического управления режимами резания, позволит обеспечить необходимое быстродействие управления, точность обработки, эффективную работу в соответствии с заданным алгоритмом функционирования, являющейся одной из важнейших задач автоматизации производственных процессов.

Задача разработки алгоритма управления заключается в выполнении следующих этапов: анализ технологического процесса резания; определение математических зависимостей; представление технологических параметров в виде логических переменных; определение взаимосвязи, условий взаимодействия и разработка алгоритма управления.

Вторая глава посвящена разработке методики синтеза алгоритма логического управления. В главе рассмотрены вопросы описания двумерной модели автоматической системы регулирования и стратегии построения алгоритмов ситуационного управления температурно-силовыми режимами резания, относящихся к классу логических алгоритмов управления.

Двумерная структура модели объекта управления (ОУ) обосновывается наличием двух основных контуров в системе управления температурно-силовым режимом процесса резания (рис. 4), для которых необходимо определить условия функционирования и взаимодействия.

Разработка алгоритма логического управления состоит из нескольких этапов:

– на первом этапе определяется закономерность взаимодействия компонентов станочной системы, на основе которых определены параметры процесса резания;

– на втором этапе определяется модель ОУ, переменные которого описываются в интервальных шкалах;

– на третьем этапе разрабатывается алгоритм логического управления, в основе которого лежит, конечно-автоматная модель.

При разработке алгоритма управления для САУ ПР необходимо, для каждого канала управления, решить три задачи: определение технологических параметров процесса резания, представление технологических параметров в виде логических переменных, преобразование логического сигнала в управляющее воздействие. Отдельной задачей является анализ условий взаимодействия каналов температуры и силы резания и синтез алгоритма управления с учетом взаимодействия.

Модуль, реализующий алгоритм логического управления, по одному из каналов, состоит из двух блоков – логического и параметрического (рис. 5).

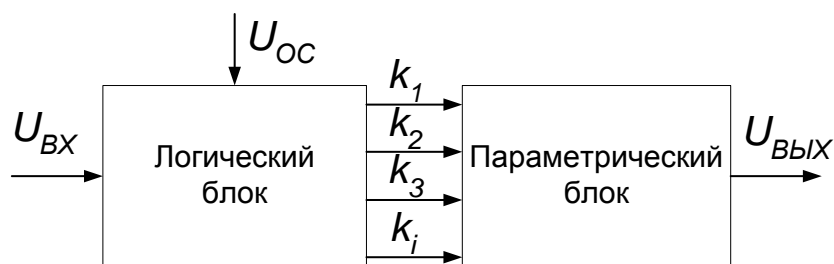


Рисунок 5 – Модуль канала управления

Логический блок (рис. 5) осуществляет определение текущего состояния, управляющих параметров резания, в котором должна находиться система (разгон, поддержание постоянной скорости, торможение и т.д.) и значений физических параметров с датчиков обратной связи. Эффективными для этих целей по комплексу требований (точность, быстродействие, надежность и др.) являются методы контроля по электрическим параметрам процесса резания (термо-ЭДС и электропроводимость контакта «инструмент-деталь» (ЭП КИД)). Параметрический блок осуществляет подачу необходимого управляющего напряжения.

Функционирование блока логического управления можно описать соотношением (1) для каждого канала k_i (рис. 5), которое описывается в конъюнктивной форме. Обозначения переменных, принятые в соотношении (1), соответствуют параметрам технологического процесса (E – термо-ЭДС, V – скорость резания, G – ЭП КИД, S – подача).

$$Z_i = (E[e_n..e_m] \wedge V[v_n..v_m] \wedge G[g_n..g_m] \wedge S[s_n..s_m]). \quad (1)$$

Для каждого канала управления k_i в логическом блоке определены условия, при которых он становится «истинным». Например, в системе управления есть три канала, соответствующие определенному состоянию:

разгон (ускорение), поддержание постоянной скорости, торможение, которые описываются в алгоритме.

Для каждого канала осуществлена дискретизация сигнала, взятого на начальном этапе, из характеристик, полученных экспериментально (рис. 6–8).

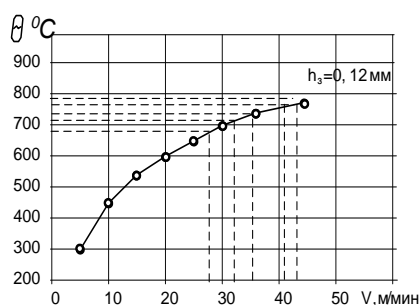


Рисунок 6 – Зависимость температуры резания Θ от скорости резания V .

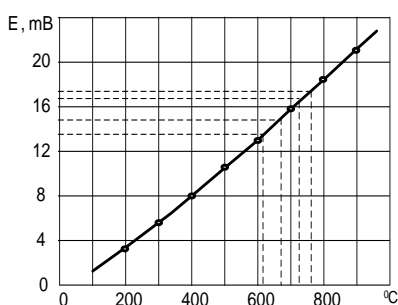


Рисунок 7 – Зависимость между термо-ЭДС и температурой резания Θ

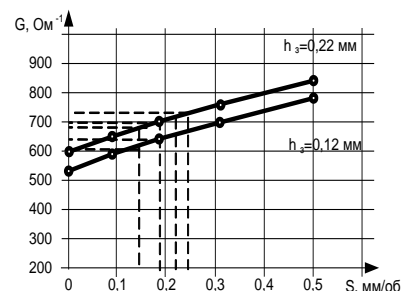


Рисунок 8 – Зависимость ЭП-КИД G от подачи S

Конъюнктивное соотношение (1) работает с логическими переменными, которым в соответствии поставили дискретизированные параметры, вносимые в базу знаний, представленной в виде таблицы данных (таблица 1).

Таблица 1. Таблица данных

	E	V	G	S
1	$E_1 = \{e_1..e_2\}$	$V_1 = \{v_1..v_2\}$	$G_1 = \{g_1..g_2\}$	$S_1 = \{s_1..s_2\}$
2	$E_2 = \{e_2..e_3\}$	$V_2 = \{v_2..v_3\}$	$G_2 = \{g_2..g_3\}$	$S_2 = \{s_2..s_3\}$
3	$E_3 = \{e_3..e_4\}$	$V_3 = \{v_3..v_4\}$	$G_3 = \{g_3..g_4\}$	$S_3 = \{s_3..s_4\}$
4	$E_4 = \{e_4..e_5\}$	$V_4 = \{v_4..v_5\}$	$G_4 = \{g_4..g_5\}$	$S_4 = \{s_4..s_5\}$
...
i	$E_k = \{e_n..e_m\}$	$V_k = \{v_n..v_m\}$	$G_k = \{g_n..g_m\}$	$S_k = \{s_n..s_m\}$

Например, в процессе обработки необходимо выдержать выделенные в таблице 1 интервальные значения параметров процесса резания. Соотношение (1) примет вид:

$$Z = (E_1 \wedge V_2 \wedge G_2 \wedge S_3)$$

при $E \in [e_1..e_2]$, $V \in [v_2..v_3]$, $G \in [g_2..g_3]$, $S \in [s_3..s_4]$.

Таким образом, данная методика позволит получить структуру алгоритма управления режимами резания, реализующую логику управления, которая представлена в виде блок-схемы (рис. 9).

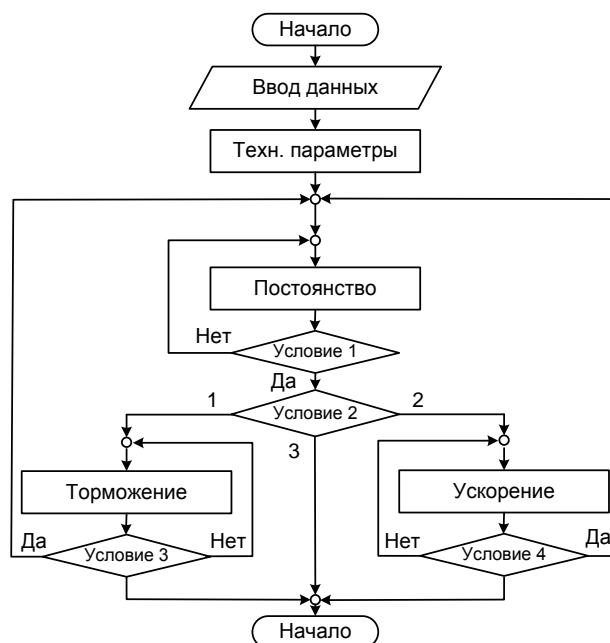


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма управления

Для улучшения качества управления ПР в диссертационной работе решается вторая задача обеспечения взаимосвязанного управления. Разрабатываемый алгоритм логического управления позволит осуществить согласование контуров силы и температуры резания. Технологическая система управления режимами резания представляет собой совокупность подсистем управления температурой и силой резания с обратными связями и иерархической структурой, для которых необходимо определить условия взаимодействия т.к. контуры управления силой и температурой резания, функционально разделены между собой. В качестве решения поставленной задачи предлагается функциональная схема управления (рис. 10).

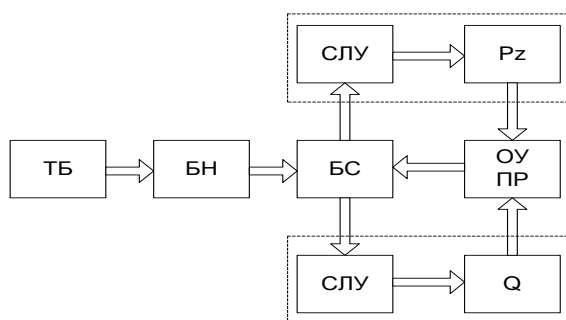


Рисунок 10 – Функциональная схема взаимосвязанного управления

На рисунке 10: ТБ – технологический блок, в котором осуществляется выбор режимов обработки (черновой, чистовой, получистовой); БН – блок настройки коэффициентов системы и параметров обработки; БС – блок согласования взаимодействия подсистем на основе логического управления, в котором через обратную связь, обеспечиваемую датчиками, определяются текущее состояние, значения физических параметров (ЭП КИД и термо-ЭДС), значения параметров резания и т.д.; СЛУ – система логического управления по температуре и силе резания; ОУ – объект управления, которым является

процесс резания. В БС (рис.10) алгоритм логического управления осуществляет управление по одному или двум каналам, в зависимости от условий обработки.

При управлении по каналу силы резания соотношение (1) примет вид:

$$P_z = (S \wedge G) \text{ при } G \in [G_{MIN}, G_{MAX}] \quad S \in [S_{MIN}, S_{MAX}].$$

При управлении по каналу температуры резания соотношение 2 примет вид: $Z_{\Theta} = (E \wedge V)$ при $E \in [E_{MIN}, E_{MAX}] \quad V \in [V_{MIN}, V_{MAX}]$.

При взаимодействии каналов управления по силе и температуре резания соотношение примет вид:

$$Z = (E \wedge V \wedge G \wedge S)$$

при $E \in [E_{MIN}, E_{MAX}] \quad V \in [V_{MIN}, V_{MAX}] \quad G \in [G_{MIN}, G_{MAX}] \quad S \in [S_{MIN}, S_{MAX}]$.

Блок-схема, реализующая схему взаимосвязанного управления, представлена на рисунке 11.

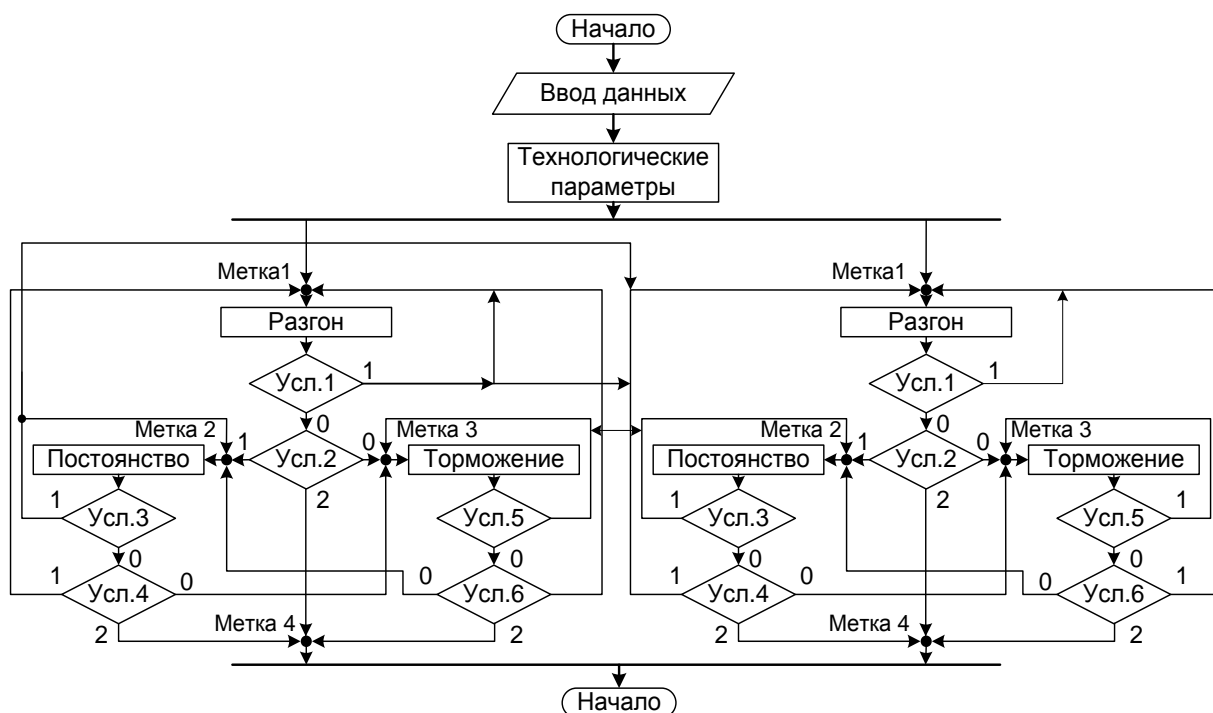


Рисунок 11 – Блок-схема алгоритма взаимосвязанного управления

Принципы отдельного и взаимосвязанного управления разрабатывались для токарных операций при обработке деталей типа вал, для обеспечения качества и точности обрабатываемой поверхности и быстродействия управления. Помимо этого аналогичный подход может найти применение при фрезеровании, где количество взаимодействующих контуров может достигать до пяти при обработке сложнопрофильных деталей.

В третьей главе осуществлен синтез алгоритма логического управления температурно-силовым режимом процесса резания. Для каждого контура был разработан модуль управления, который состоит из логического и параметрического блока (рис. 5).

Для логического блока получена диаграмма переходов, которая визуально отображает взаимосвязь, и взаимодействие состояний, для подсистемы по температуре резания Θ (рис. 12).

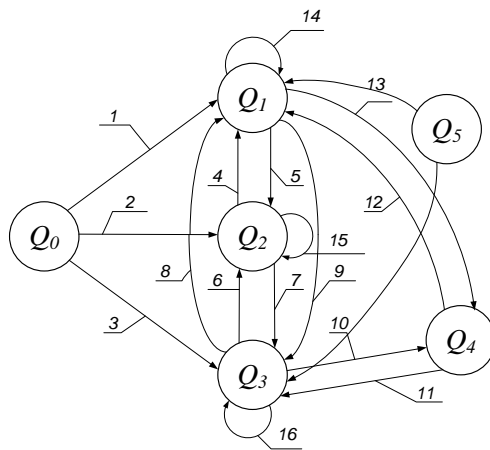


Рисунок 12 – Диаграмма переходов логического блока управления по температуре резания

Аналогичная диаграмма переходов получена в программе Matlab simulink пакет Stateflow (рис. 13).

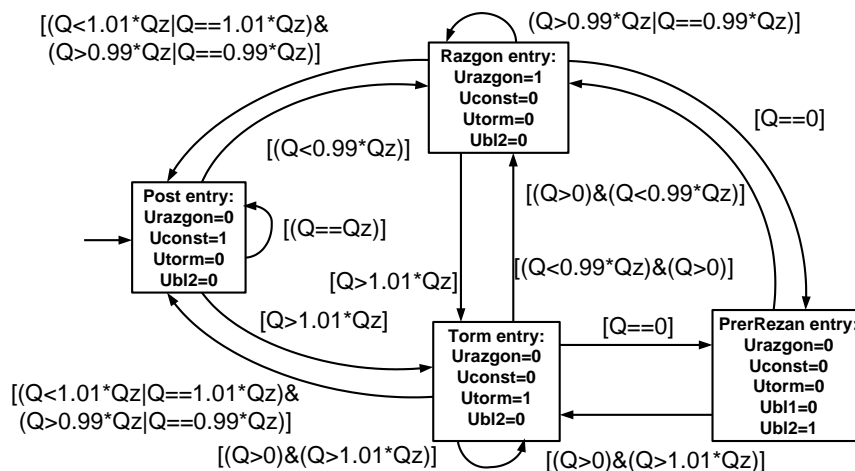


Рисунок 13 – Модель логического управления температурой резания.

Аналогичный подход синтеза алгоритма логического управления применяется и для канала управления по силе резания, для которого, также, определены основные состояния, составлена диаграмма и функции-переходов.

Вторая задача – обеспечение взаимодействия каналов управления температурой и силой резания решается следующим образом.

Наличие контуров управления по термо-ЭДС и ЭП КИД позволяет решить задачу назначения рациональных режимов обработки. При работе с постоянной подачей целесообразно обработку осуществлять при $V > V_0$.

В моменты, когда известна минимальная и допустимая величина износа, то при определенных условиях обработку можно осуществить, увеличив скорость резания, находясь в диапазоне допустимой температуры резания. Диапазон изменения скорости и температуры резания от величины износа определяется характеристикой для конкретной пары инструмент–деталь (рис. 14).

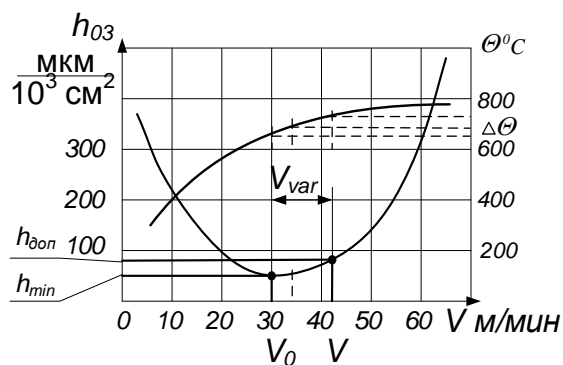


Рисунок 14 – Характерная зависимость износа резца h_{03} от скорости и температуры резания

Таким образом, в качестве условий, при работе с постоянной подачей, выступает оценка состояния износа резца, скорости резания. Условие подключения контура управления скоростью резания: при условии ($h_{03} < h_{тек} < h_{доп}$), можно изменять скорость резания V_{var} . Исследование и анализ характера протекания процесса резания, позволил определить условия взаимодействия каналов температуры и силы резания:

1. В режиме черновой обработки, при котором ведущим каналом является канал управления по силе резания приняты следующие условия:

– при врезании можно осуществить согласованное управление:

если ($(\Theta_{тек} < \Theta_{зад})$ и $(Pz_{тек} < Pz_{зад})$) и ($(\Theta_{тек} = \Theta_{зад})$ или $(Pz_{тек} = Pz_{зад})$), то V_{var} (ув.);

– при действии возмущений, согласование управления осуществляется аналогичным образом:

если ($(\Theta_{тек} < \Theta_{зад})$ и $(Pz_{тек} < Pz_{зад})$) + ($(\Theta_{тек} = \Theta_{зад})$ или $(Pz_{тек} = Pz_{зад})$), то V_{var} (ув.),

если ($(\Theta_{тек} > \Theta_{зад})$ и $(Pz_{тек} > Pz_{зад})$) + ($(\Theta_{тек} = \Theta_{зад})$ или $(Pz_{тек} = Pz_{зад})$), то V_{var} (ум.).

2. В режиме чистовой обработки, при котором ведущим каналом является канал управления по температуре резания приняты следующие условия:

– при врезании можно осуществить согласованное управление:

если ($(\Theta_{тек} < \Theta_{зад})$ и $(Pz_{тек} < Pz_{зад})$) + ($(\Theta_{тек} = \Theta_{зад})$ или $(Pz_{тек} = Pz_{зад})$), то S_{var} (ув.);

– при действии возмущений, согласование управления осуществляется аналогичным образом:

если ($(\Theta_{тек} < \Theta_{зад})$ и $(Pz_{тек} < Pz_{зад})$) + ($(\Theta_{тек} = \Theta_{зад})$ или $(Pz_{тек} = Pz_{зад})$), то S_{var} (ув.),

если ($(\Theta_{тек} > \Theta_{зад})$ и $(Pz_{тек} > Pz_{зад})$) + ($(\Theta_{тек} = \Theta_{зад})$ или $(Pz_{тек} = Pz_{зад})$), то S_{var} (ум.).

3. В режиме полустойковой обработки:

– аналогично режиму полустойкового точения.

Дополнительными параметрами-ограничениями к полученным условиям являются: поддержание необходимой шероховатости R_a , учет величины износа h_z , и др.

Полученные условия для каналов температуры и силы резания позволят осуществить взаимосвязанное управление температурой и силой резания.

В четвертой главе осуществлено моделирование, анализ и оценка эффективности работы алгоритмов логического управления температурно-силовым режимом процесса резания в Matlab simulink (рис.15).

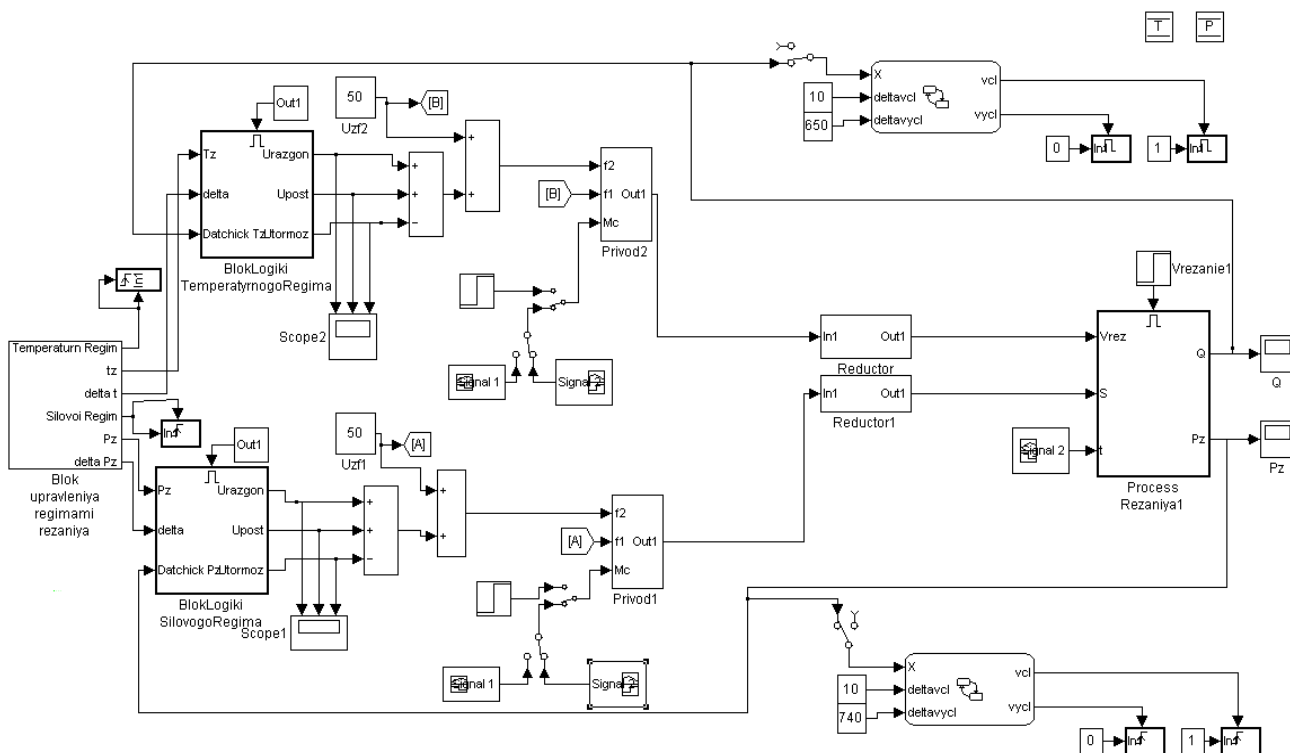


Рисунок 15 – Структурная схема системы логического управления в программе Matlab

С целью сравнения работы САУ ПР на основе релейно-непрерывной элементной базы и проверки теоретических положений работы алгоритмов логического управления моделирование проводилось для подсистемы управления температурой резания.

Результаты моделирования для двух систем представлены на рисунках 16–17 (А – на основе релейно-непрерывной схемы; Б – с использованием блока логического управления).

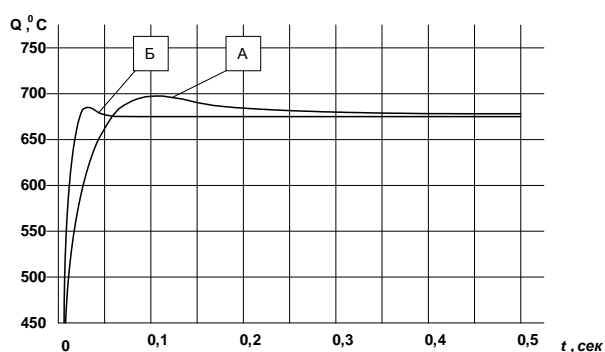


Рисунок 16 – Переходный процесс изменения температуры резания.

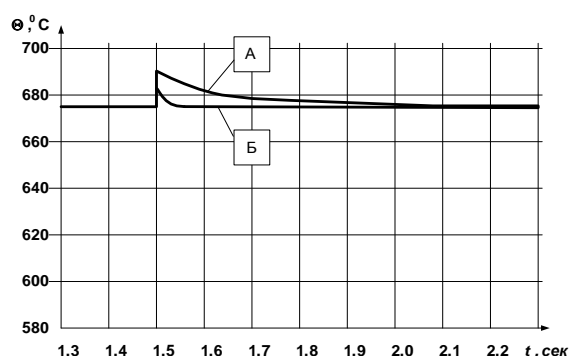


Рисунок 17 – Переходный процесс изменения температуры резания при действии возмущения.

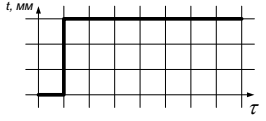
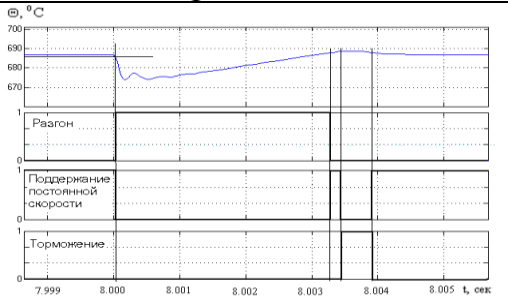
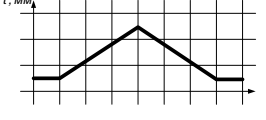
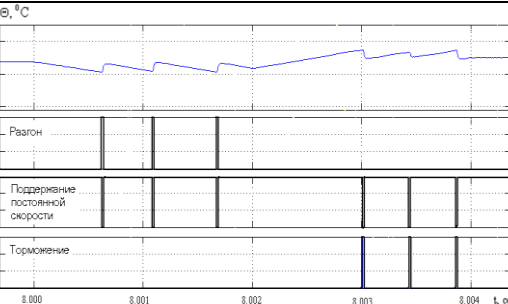
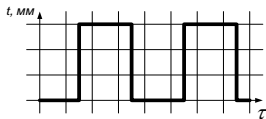
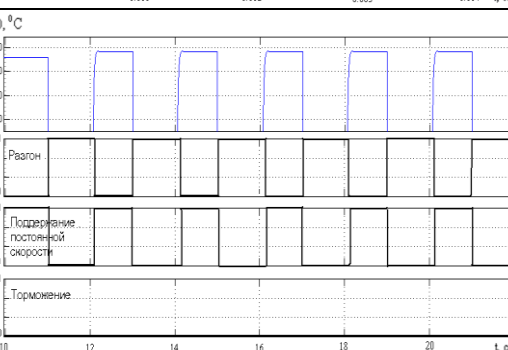
Сравнительный анализ показал, что быстродействие системы с блоком логического управления выше на 15%, перерегулирование ниже на 6,5%, что говорит о преимуществе логического управления.

При действии возмущений быстродействие с блоком логического управления выше на 20%, позволяющее сделать вывод о быстродействии алгоритмов логического управления.

С целью проверки эффективности и адекватности работы алгоритмов логического управления проведено численное моделирование начальных исходных данных: диаметр детали $D = 50$ мм; ХН77ТЮР – ВК6М; При этом оптимальная температура составляет $\Theta_0 = 687^{\circ}\text{C}$. Обработка производится при следующих элементах режима резания: глубина резания $t = 1$ мм, подача $S = 0,21$ мм/об., скорость резания $V = 20$ м/мин. Приводе главного движения – электродвигатель 4А160S4У3 мощностью 15 кВт, привод подачи – электродвигатель 4А132S4У3 мощностью 7,5 кВт.

В ходе численного моделирования были получены графики переходных процессов для типовых видов сигналов, отражающие технологический процесс резания и адекватность работы алгоритмов логического управления по температуре резания (табл. 2).

Таблица 2.

Вид сигнала	Переходной процесс температуры резания	Параметры
 <p>Изменение момента сопротивления.</p>		$\sigma=0,5\%$ $T_{ПП}=0,003$ с.
 <p>Изменение момента при обработке детали с эксцентриситетом</p>		$\sigma=0,8-1,2\%$ $T_{ПП}=0,001$ с.
 <p>Изменение момента при прерывистом резании</p>		$\sigma < 2,5\%$ $T_{ПП}=0,003$ с.

Аналогичный комплекс графиков переходных процессов получен для канала управления по силе резания.

Графики переходного процесса, при взаимосвязанном управлении, имитирующие обработку детали с пазами или отверстиями, соответствующие режиму при прерывистом резании (рис. 18).

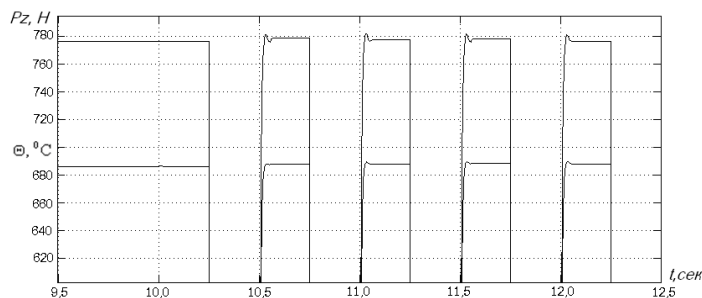


Рисунок 18 – Графики переходных процессов при согласованном управлении каналов температуры и силы резания (по каналу силы резания $T=0,002-0,003$ с., $\sigma < 3-4\%$, по каналу температуры резания $T=0,001-0,002$ с., $\sigma < 2\%$).

Графики переходных процессов (табл. 2) позволяют оценить работу алгоритмов логического управления, которые обладают высоким быстродействием. Время реакции при отклонении системы от заданного значения $T = 0,001-0,005$ с.

Следовательно, основное требование, предъявляемое к датчикам и каналам передачи данных – быстродействие $T < 0,005$ с., таким требованиям соответствуют датчики термо-ЭДС и электропроводимости. Выбор датчиков термо-ЭДС и ЭП КИД, характеризующих технологический процесс резания, обусловлен их практической безынерционностью (время реакции $T=0,001-0,005$ с.) в процессе механообработки.

Дальнейшее развитие алгоритмов логического управления, основанный на ситуационном управлении, позволит их применить в сложных системах, для которых основным видом механообработки является фрезерование, где процесс имеет еще большую неопределенность и нестационарность.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложена методика синтеза алгоритмов управления режимами резания, позволяющая описать технологический процесс резания через конечно-автоматные модели путем представления технологических параметров в интервальных шкалах и осуществить взаимосвязанное управление несколькими каналами в условиях неопределенности.

2. Осуществлен синтез алгоритмов логического управления основных подсистем, для которых определены структура модуля управления. Определены основные состояния и логика переходов, отображаемые диаграммой переходов. Решена задача взаимосвязанного управления для технологического процесса механообработки.

3. Проведены численные эксперименты. Результаты разработанных алгоритмов управления в сравнении с существующими САУ ПР оказались лучше: по быстродействию на 10–15%, по перерегулированию на 5–6%. Эти

результаты показывают преимущество разработанных алгоритмов и позволяют сделать заключение об эффективности предложенной методики при управлении температурно-силовыми режимами процесса механообработки.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК:

1. Логико-программное управление температурно-силовым режимом процесса резания / В. Ц. Зориктуев, А. Р. Зарипов // Вестник УГАТУ: науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2006. Т. 8, №1 (17). С. 78–82.

В других изданиях:

2. Алгоритм логического управления контурной скоростью в системах ЧПУ класса CNC / А. Р. Зарипов // Автоматическое управление : тр. 10-й Междунар. конф. по автоматическому управлению. Спб. : ИТМО, 2004. С. 79–85. (статья на англ. яз.).

3. Блок логического управления температурно-силовым режимом процесса резания на мехатронных станках / А. Р. Зарипов // Автоматизация технологических процессов и производственный контроль : тр. Междунар. конф. по автоматизации технологических процессов и производственному контролю. Тольятти : ТГУ, 2006. С. 68–72.

4. Логическое управление температурно-силовым режимом процесса резания на мехатронных станках / А. Р. Зарипов // Мехатроника, робототехника, автоматизация : сб. науч. тр. М. : МГУПИ, 2006. С. 77–82.

5. Логическое управление температурно-силовым режимом процесса резания / А. Р. Зарипов // Современные организационные, технологические и конструкторские методы управления качеством : матер. док. Пермь : ПГТУ, 2006. С. 36–39.

6. Логико-программное управление температурно-силовыми режимами процесса резания / А. Р. Зарипов // Интеллектуальные системы обработки информации и управления. зимн. шк.-сем. молодых ученых : сб. тр. Уфа : УГАТУ, 2007. С. 273–278.

Диссертант

А. Р. Зарипов