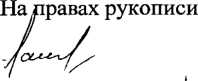
**Сазонова, Татьяна Васильевна. Управление автоклавом на основе многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.06 / Сазонова Татьяна Васильевна; [Место защиты: Оренбург. гос. ун-т].- Оренбург, 2013.- 195 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/1006**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУД АРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»





Сазонова Татьяна Васильевна

**УПРАВЛЕНИЕ АВТОКЛАВОМ НА ОСНОВЕ  
МНОГОМЕРНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА  
С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ**

05 Л 3.06 - Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами  
(промышленность)







Оренбург - 2013

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

С.

[СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 5](#bookmark4)

[ВВЕДЕНИЕ 8](#bookmark5)

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ШЛАКОБЛОКОВ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОВЫХ

ЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА БУРЫХ УГЛЯХ 18

1. Мировой опыт использования золошлаковых материалов

тепловых электроцентралей, использующих бурые угли 18

1. Закономерности процесса производства шлакоблоков 25
2. Технологические требования по тепловлажностной

обработке шлакоблоков в автоклаве 32

1. Обзор технологических схем производства шлакоблоков 39
2. Анализ существующих систем управления автоклавами для

производства шлакоблоков из золошлаковых материалов тепловых электроцентралей, работающих на бурых углях 46

1. Цели и задачи исследования 51

[ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ 56](#bookmark9)

2 МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОКЛАВОМ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ 58

1. Концептуальная модель автоклава для производства

шлакоблоков из золошлаковых материалов

теплоэлектроцентралей, использующих бурые угли 58

1. Алгоритмы стадий «Продувка» и «Подъем температуры и

давления» с автоматической адаптацией их длительности к химическому составу сырья, используемого для производства шлакоблоков 68

з

1. Алгоритм изотермической выдержки при постоянных

температуре и давлении 74

1. Алгоритм с адаптацией темпа снижения температуры и давления в автоклаве к химическому составу сырья шлакоблоков 86
2. Шестимерный нечеткий регулятор температуры в автоклаве с отработкой продукционных правил в ситуационных

подпрограммах 91

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ 100

ГЛАВА 3 ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОКЛАВАМИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ШЛАКОБЛОКОВ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ 102

1. Методика разработки многомерных нечетких регуляторов с интервальной неопределенностью для производства шлакоблоков

в автоклавах 102

1. Синтез и минимизация структуры антецедентов

продукционных правил МНРсИН на основе последовательностных уравнений и метода Квайна-Мак-Класки... 106

1. Элементы автоматизированного проектирования

многомерных нечетких регуляторов с интервальной неопределенностью 112

1. Исследование устойчивости шестимерного нечеткого регулятора температуры с интервальной неопределенностью в

системе управления автоклавом 120

[ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ 133](#bookmark30)

ГЛАВА 4 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОКЛАВОМ НА ОСНОВЕ ШЕСТИМЕРНОГО НЕЧЕТКОГО

РЕГУЛЯТОРА С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ 134

* 1. Общая характеристика автоматизированной системы управления промышленным автоклавом 134
  2. Реализация автоматизированной системы управления

промышленным автоклавом в среде SCADA-системы Trace Mode 6 138

* 1. Основные технические средства системы автоматизации

промышленного автоклава 148

* 1. Технико-экономическая эффективность системы управления автоклавом на основе многомерного нечеткого регулятора с

интервальной неопределенностью 160

[ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ 163](#bookmark33)

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ 166

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 167

ПРИЛОЖЕНИЕ А ПРИЛОЖЕНИЕ Б ПРИЛОЖЕНИЕ В ПРИЛОЖЕНИЕ Г

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

АСУПА - автоматизированная система управления промышленным автоклавом АСУТП - автоматизированная система управления технологическими процессами

АТР - Азиатско-Тихоокеанский регион

АФХ - амплитудо-фазовая характеристика

БТЕ - британская тепловая единица

В/Т — водотвердое отношение

ВАК — высшая аттестационная комиссия

ГЗСШ - газозолосиликатный шлакоблок

ГОСТ - государственный стандарт

ГЭ - графический экран

ДИ - доверительный интервал

ДТС - датчик температуры (термосопротивления)

ДПД- датчик путевой с потенциальным выходом

ДНФ - дизъюнктивная нормальная форма

ДФ - дефаззификатор

ЗАО - закрытое акционерное общество

ЗШМ - золошлаковые материалы

ИМ - исполнительный механизм

КФ ОГУ - Кумертауский филиал Оренбургского государственного университета

MBA - модуль аналогового ввода

МДВВ - модуль дискретного ввода/вывода

МВУ - модуль вывода управляющий

МР - модуль расширения выходных элементов

НРсИН - нечеткие регуляторы с интервальной неопределенностью

МНРсИН — многомерный нечеткий регулятор с интервальной

неопределенностью

НПФ — научно-производственная фирма

HP - нечеткий регулятор

ОАО - открытое акционерное общество

ОГУ - Оренбургский государственный университет

ОЗУ - оперативное запоминающее устройство

ООО - общество с ограниченной ответственностью

ОПЭК - организация стран - экспортеров нефти

ОСЭР — организация экономического сотрудничества и развития

ОУ - объект управления

ОСПП - блок отработки ситуационных подпрограмм

ПИД-регулятор - пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор

ПК - персональный компьютер

ПЛК - программируемый логический контроллер

ПрК - программируемый контроллер

РААСН - Российская академия архитектуры и строительных наук РФ - Российская Федерация СДНФ - совершенная ДНФ

СДП - блок сканирования дискретных входных и выходных переменных

СН - санитарные нормы

СНиП - санитарные нормы и правила

Cl ill - ситуационные подпрограммы

СУ - система управления

США - соединенные штаты Америки

СЭВ - Совет экономической взаимопомощи

ТНР - типовые нечеткие регуляторы

ТПТ - термопреобразователь

ТСМ - термопреобразователь сопротивления медный ТСП - термопреобразователь сопротивления платиновые ТСН - термопреобразователь сопротивления никелевой ТО - тепловлажностная обработка ТУ - технические условия

ТЭН - термоэлектрический нагреватель.

ТЭЦ - теплоэлектроцентраль У СО - устройство сопряжения с объектом ШИМ - широтно-импульсная модуляция ЭИ - экранный интерфейс

EIA - Energy Information Administration (Журнал)

FBD - functional block diagram (функциональные блочные диаграммы) HART-протокол (англ. Highway Addressable Remote Transducer Protocol) - цифровой промышленный протокол передачи данных HMI (human-machine interface) -человеко-машинный интерфейс IL (Instruction List) - список инструкций

SCADA - supervisory control and data acquisition (система диспетчерского управления и сбора данных)

ST (Structured Text) - структурированный текст

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы диссертационной работы.** Использование золошлаковых материалов (ЗШМ) теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), получаемых в результате сгорания бурого угля, в качестве сырья для изготовления шлакоблоков из-за оптимального соотношения «цена-качество» и улучшения экологической обстановки промышленных регионов является достаточно перспективным направлением в производстве строительных материалов. В данном процессе используется автоклавная тепловлажностная обработка, на долю которой приходятся до 80% [5, 14, 109] энергозатрат и основная часть производственного цикла, требующего строгого соблюдения длительности следующих технологических стадий: продувка, плавный подъём, снижение температуры и давления, изотермическая выдержка при постоянном давлении. Несоблюдение указанных требований и неравномерность прогрева рабочего пространства автоклава приводят к повышению энергозатрат и доли брака в готовой продукции.

Между тем, конструкция и системы управления существующих автоклавов [20] не располагают действенными средствами выполнения указанных требований (пар в автоклав подается по одной трубе; длительность упомянутых стадий обычно завышена и задается априорно, по среднестатистическим данным, и без учета непрерывно меняющегося химического состава сырья шлакоблоков).

Перечисленные недостатки усугубляются при изготовлении шлакоблоков из ЗШМ ТЭЦ г. Кумертау, в которых состав окислов железа колеблется в особенно широких пределах (3 27)%) [63, 65, 140, 141], что приводит к

стохастическому изменению оптимальной продолжительности технологических стадий, а, значит, и к еще большим энергозатратам и браку. Поэтому назрела необходимость в разработке системы управления в виде многомерного регулятора температуры в нескольких точках рабочего пространства автоклава, в котором длительность технологических стадий продувки, плавного подъема и спада температуры определяется в режиме

реального времени по фактической теплоемкости сырья, используемого для производства шлакоблоков. Поскольку теплоемкость упомянутого сырья напрямую зависит от его химического состава [2, 3, 5, 14-17], то появляется возможность построения системы управления, в которой длительность указанных стадий будет автоматически определяться реальной потребностью в тепловой энергии конкретной партии шлакоблоков, что, в свою очередь, позволит снизить процент брака в готовой продукции и потери энергоресурсов.

Сложность физико-химических процессов в автоклавах не позволяет интерпретировать их в виде достоверной и адекватной математической модели, поэтому для их управления целесообразно использовать типовые нечеткие регуляторы (ТНР). Системы управления сложными технологическими процессами с применением ТНР нашли должное отражение в работах Л.А. Заде, Е.А. Мамдани, М. Сугено, К. Асаи, С. Осовского, В.В. Круглова,

1. В. Леоненкова, И.А. Мочалова, Н.П. Деменкова, Б.Г. Ильясова,
2. И. Васильева, А.П. Веревкина, Р.А. Мунасыпова, М.Б. Гузаирова,
3. Д. Штовбы, А.А. Ускова и др. [11, 12, 19,33,38,43, 51,58,71, 103, 104, 116]. Однако большая погрешность регулирования и низкое быстродействие ТНР не позволяют должным образом компенсировать взаимное влияния контуров регулирования, что является одной из причин увеличения энергозатрат и доли брака в партиях шлакоблоков, подвергнутых тепловлажностной обработке в автоклаве.

В отличие от ТНР нечеткие регуляторы с интервальной

неопределенностью (НРсИН) [1, 19, 128, 129], в том числе и многомерные (МНРсИН), ближе к человеческому мышлению и естественному языку и позволяют построить алгоритм управления, адекватный реальному технологическому процессу производства газозолосиликатных шлакоблоков автоклавного твердения. Поскольку потенциальных возможностей по быстродействию и снижению погрешность регулирования у МНРсИН больше, чем у ТНР, то целесообразность их использования в качестве регуляторов в системе управления автоклавами становится очевидной.

Приведенные доводы, а также недостаточная изученность МНРсИН в составе систем управления автоклавами позволяют считать, что разработка систем логического управления автоклавом на основе МНРсИН для производства газозолосиликатных шлакоблоков является *актуальной научной задачей,* решение которой позволит существенно снизить расход энергоресурсов и процент бракованных шлакоблоков после тепловлажностной обработки.

Настоящая работа выполнена в рамках госбюджетной научно- исследовательской работы №0203027690376 «Разработка автоматизированной системы управления производством шлакоблоков автоклавного твердения из золошлаковых материаллов ТЭЦ» на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» Кумертауского филиала Оренбургского государственного университета (Кумертауский филиал ОГУ).

**Целью диссертационной работы является** снижение затрат энергии и доли брака при тепловлажностной обработке в автоклаве шлакоблоков, изготовленных из золошлаковых материалов тепловой электроцентрали, за счет логического управления процессами в автоклаве, реализованного на основе многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью.

**Для достижения цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие основные задачи:**

1. Построение концептуальной модели автоклава для тепловлажностной обработки шлакоблоков, обеспечивающей снижение энергозатрат и доли брака в составе готовой продукции за счет равномерного повышения, поддержания и снижения температуры во всем рабочем пространстве автоклава (шести точках).
2. Разработка алгоритмов изменения температуры на технологически х стадиях продувки и подъема температуры, снижающих энергозатраты и брак, благодаря внутренней адаптации темпа подъема температуры к химическому составу (теплоемкости) сырья шлакоблоков.
3. Синтез шестимерного нечеткого регулятора температуры с интервальной неопределенностью, обеспечивающего повышение качества

готовой продукции и экономию энергии за счет более точной компенсации взаимного влияния контуров регулирования для технологической стадии «Изотермическая выдержка при постоянном давлении».

1. Разработка алгоритма снижения температуры в автоклаве, обеспечивающего низкий процент брака шлакоблоков и минимальные потери энергии путем внутренней адаптации темпа снижения температуры в автоклаве к химическому составу (теплоемкости) сырья шлакоблоков.
2. Построение SCADA-системы управления автоклавом для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ г. Кумертау со стабилизацией температуры во всем рабочем пространстве автоклава с помощью шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью и оценка её технико-экономической эффективности.

**Объект исследования** - управление технологическими процессами в автоклаве как многосвязном объекте на основе шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью.

**Предмет исследования** - синтез логических моделей и алгоритмов с интервальной неопределенностью, обеспечивающих при управлении технологическими процессами производства шлакоблоков в автоклаве снижение энергозатрат и повышение качества готовой продукции.

**Методы исследования.** Использованы основные положения теории интеллектуальных систем управления на основе многомерных нечетких регуляторов, автоматического регулирования, методы экспериментальных исследований, а также теория и пакеты SCADA-систем.

**Основные научные результаты, полученные автором и выносимые на защиту:**

1. концептуальная модель автоклава для тепловлажностной обработки шлакоблоков, обеспечивающая снижение энергозатрат и доли бракованных шлакоблоков за счет равномерного повышения, поддержания и снижения температуры во всем рабочем пространстве автоклава (шести точках) при

технологических стадиях продувки, подъема и спада температуры и давления, а также в ходе изотермической выдержки при постоянном давлении;

1. алгоритм изменения температуры на технологических стадиях продувки и подъема температуры, снижающих энергозатраты и долю брака благодаря равномерности прогрева рабочего пространства автоклава в шести точках и внутренней адаптации темпа подъема температуры к химическому составу (теплоемкости) сырья шлакоблоков;
2. шестимерный нечеткий регулятор температуры с интервальной неопределенностью, обеспечивающий снижение доли брака в готовой продукции и экономию энергии за счет более точной компенсации взаимного влияния контуров регулирования для технологической стадии «Изотермическая выдержка при постоянном давлении»;
3. алгоритм снижения температуры в автоклаве, обеспечивающий низкий процент бракованных шлакоблоков и минимальные потери энергии путем внутренней адаптации темпа снижения температуры в автоклаве к химическому составу сырья шлакоблоков;
4. SCADA-система управления автоклавом для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ г. Кумертау со стабилизацией температуры во всем рабочем пространстве автоклава с помощью шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью и оценка её эффективности.

**Научная новизна результатов.**

1. Концептуальная модель автоклава как многосвязного объекта, в которой для снижения энергозатрат и процента бракованных шлакоблоков предложено регулировать температуру в шести точках рабочего пространства автоклава с помощью шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью.
2. Алгоритмы управления технологическими стадиями продувки и подъема температуры, повышающие качество шлакоблоков (снижение доли брака в готовой продукции) и снижающие энергозатраты вследствие

равномерного прогрева рабочего пространства автоклава в шести точках и адаптации темпа подъёма температуры к химическому составу (теплоемкости) сырья шлакоблоков.

1. Шестимерный нечеткий регулятор температуры с интервальной неопределенностью, обеспечивающий снижение процента брака в составе шлакоблоков, подвергнутых тепловлажностной обработке, и экономию энергии за счет более точной компенсации взаимного влияния контуров регулирования для технологической стадии «Изотермическая выдержка при постоянном давлении».
2. Алгоритм снижения температуры в автоклаве, обеспечивающий низкий процент брака шлакоблоков и минимальные потери энергии путем внутренней адаптации темпа снижения температуры в автоклаве к химическому составу (теплоемкости) сырья шлакоблоков.
3. SC ADA-система управления автоклавом для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ г. Кумертау со стабилизацией температуры во всем рабочем пространстве автоклава с помощью шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью.

**Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы.** Достоверность, представленных в диссертационной работе научных положений, методики разработки, рекомендаций и выводов, подтверждается их непротиворечивостью известным положениям в соответствующих предметных областях, а также хорошей сходимостью результатов экспериментальных исследований на реальном объекте управления (автоклаве для тепловлажностной обработки шлакоблоков).

**Практическая ценность полученных результатов:**

- концептуальная модель автоклава, позволившая построить автоклав новой конструкции, в которой для равномерного прогрева и поддержания заданной температуры в рабочем пространстве автоклава пар подается по шести трубам;

* алгоритмы управления технологическими стадиями продувки и подъема температуры, плавного снижения температуры в автоклаве, а также шестимерный нечеткий регулятор температуры с интервальной неопределенностью, позволившие снизить долю бракованных шлакоблоков и потребление тепловой энергии на 7,3% и 13,3% соответственно;
* SCADA-система управления автоклавом для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ г. Кумертау со стабилизацией температуры во всем рабочем пространстве автоклава с помощью шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью, внедренная в технологический процесс производственной фирмы «Спецстройматериалы» с экономическим эффектом 760 тыс. руб. в год из расчета на один автоклав.

**Реализация результатов диссертационной работы.** Результаты диссертационной работы внедрены в:

систему управления автоклавом производственной фирмы «Спецстройматериалы»;

* учебную дисциплину «Автоматика и автоматизация производственных процессов» Кумертауского филиала «Оренбургского государственного университета» (Республика Башкортостан, Россия).

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы обсуждались и получили одобрение на следующих научных конференциях и семинарах: XV Академические чтения РААСН - международная научно- техническая конференция «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии» (Казань, 2010); девятый международный симпозиум «Интеллектуальные системы» (INTELS'2010) (Владимир, 2010); всероссийская конференция с элементами научной школы для молодежи «Научно-исследовательские проблемы в области энергетики и энергосбережения» (Уфа, 2010); 3-я международная научная заочная

конференция «Актуальные вопросы современной техники и технологии» (Липецк, 2011); всероссийская научно-практическая конференция «Автоматизация и управление технологическими и производственными

процессами» (Уфа, 2011); региональный научно-технический семинар «Современные проблемы разработки и внедрения АСУ ТП в нефтегазовом комплексе» (Уфа, 2011); вторая всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблема модернизации высшего профессионального образования в условиях технического вуза» (Кумертау, 2011); VII международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения» (Казань, 2012); CSIT'2012 (Гамбург-Норвегия, 2012); десятый международный симпозиум «Интеллектуальные системы» (INTELS'2012) (Вологда, 2012).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 17 работ, в том числе: 4 - в журналах, включенных в «Перечень ...» ВАК; глава в коллективной монографии; 1 патент на полезную модель; 1 свидетельство на регистрацию программы.

**Структура** и объем работы. Диссертация изложена на 195 страницах машинописного текста и включает в себя введение, четыре главы, заключение, 98 рисунков, 21 таблицу, список использованных источников из 145 наименований и приложения.

**Содержание работы.**

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены цель работы, объект и предмет исследования, сформулированы научные результаты, выносимые на защиту, определены их научная новизна и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов работы.

*В первой главе* рассмотрены мировой опыт использования ЗШМ ТЭЦ, использующих бурые угли, закономерности процесса производства газосиликатных шлакоблоков, произведен обзор технологических требований и схем по производству шлакоблоков, а также проанализированы существующие системы управления автоклавами для производства шлакоблоков. Сделан вывод об отсутствии эффективных систем управления автоклавами для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ с меняющимся

химическим составом. Обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования.

*Во второй главе* разработаны концептуальная модель автоклава для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов теплоэлектроцентралей, использующих бурые угли, алгоритмы стадий «Продувка» и «Подъем температуры и давления» с автоматической адаптацией их длительности к химическому составу сырья, используемого для производства шлакоблоков, алгоритм изотермической выдержки при постоянных температуре и давлении, алгоритм с адаптацией темпа снижения температуры и давления в автоклаве к химическому составу сырья шлакоблоков. Представлен шестимерный нечеткий логический регулятор температуры в автоклаве с отработкой продукционных правил в ситуационных подпрограммах.

*В третьей главе* предложена поэтапная методика разработки многомерных нечетких регуляторов с интервальной неопределенностью для производства шлакоблоков в автоклавах с компьютеризацией её рутинных и трудоемких процедур. Разработана автоматизированная система синтеза первоначальных логических структур антецедентов продукционных правил МНРсИН на основе последовательностных уравнений с их последующей минимизацией методом Квайна-Мак-Класки, позволившая существенно уменьшить объем системы продукций рассматриваемого регулятора и в 3 — 4 раза сократить сроки её составления. Построен алгоритм и составлена программа, которые в 2 - 3 раза сокращают продолжительность выполнения рутинной процедуры синтеза системы продукционных правил многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью для автоклава как шестимерного объекта управления с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования. Предложен метод определения устойчивости МНРсИН, использующий в составе метода Симою М.П. экспериментально снятую кривую разгона контура регулирования системы управления

автоклавом, для которой по упомянутой методике определен запас устойчивости по амплитуде (/2=0,34) и по фазе (А(з=18°).

*В четвертой главе* представлена автоматизированная система управления автоклавом на основе шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью, реализованная в среде Trace Mode 6. Показано, что особенность трехуровневой (полевой, контроллерный и компьютерный) автоматизированной системы управления промышленным автоклавом состоит в программной реализации на контроллерном уровне шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью, в котором компенсация взаимного влияния контуров производится специальной компенсационной системой продукционных правил. Средствами S С ADA-системы Trace Mode 6 реализована автоматизированная система управления промышленным автоклавом как многосвязным объектом с визуализацией температуры (трендами) в шести точках рабочего пространства автоклава. Проведенный анализ характеристик типовых технических средств автоматизации показал, что реализуемые ими управляющие функции являются достаточными для построения SCADA-системы управления автоклавом на основе многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью. На основе экспериментальных данных произведен расчет технико-экономической эффективности системы управления автоклавом на основе многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью.

**ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ**

1. Особенность трехуровневой (полевой, контроллерный и компьютерный) автоматизированной системы управления промышленным автоклавом состоит в программной реализации на контроллерном уровне шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью, в котором компенсация взаимного влияния контуров производится специальной компенсационной системой продукционных правил.
2. Средствами SCADA-системы Trace Mode 6 реализована автоматизированная система управления промышленным автоклавом как многосвязным объектом с визуализацией температуры (трендами) в шести точках рабочего пространства автоклава и с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования с помощью специальной системы продукционных правил.
3. Анализ характеристик типовых технических средств автоматизации показывает, что реализуемые ими управляющие функции являются достаточными для построения SCADA-системы управления автоклавом на основе многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью.
4. Экономический эффект от внедрения SCADA-системы управления автоклавом для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ г. Кумертау со стабилизацией температуры во всем рабочем пространстве автоклава с помощью шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью, внедренной в технологический процесс производственно-технологической фирмы «Спецстройматериалы» составляет 760 (семьсот шестьдесят) тысяч рублей в год из расчета на один

автоклав.

**ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

1 Предложена концептуальная модель автоклава для тепловлажностной обработки шлакоблоков, обеспечивающая повышение качества готовой продукции, снижения энергозатрат за счет равномерного повышения, поддержания и снижения температуры во всем рабочем пространстве автоклава (шести точках) при технологических стадиях продувки, подъема и спада температуры и давления, а также в ходе изотермической выдержки при постоянном давлении.

1. Разработан алгоритм изменения температуры на технологических стадиях продувки и подъема температуры, снижающий энергозатраты и долю брака шлакоблоков после их тепловлажностной обработки, из-за: повышения равномерности прогрева рабочего пространства автоклава (пар подается по шести трубам); использования внутренней адаптации темпа подъема температуры к химическому составу сырья шлакоблоков.
2. Построен шестимерный нечеткий регулятор температуры с интервальной неопределенностью, обеспечивающий снижение объема бракованных шлакоблоков и экономию энергии, которые вызваны более точной компенсацией взаимного влияния контуров регулирования для технологической стадии «Изотермическая выдержка при постоянном давлении».
3. Произведен синтез алгоритма плавного снижения температуры в автоклаве, обеспечивающий уменьшение брака шлакоблоков и минимальные потери энергии путем внутренней адаптации темпа снижения температуры в автоклаве к химическому составу сырья шлакоблоков.

Построена SCADA-система управления автоклавом для производства шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ г. Кумертау с плавным подъемом, снижением и стабилизацией температуры во всем рабочем пространстве автоклава с помощью шестимерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью, обеспечивающая снижение энергозатрат и брака в готовой продукции на 13,3 и 7,3 процентов соответственно. Экономический эффект от её внедрения в технологический процесс фирмы «Спецстройматериалы» составил 760 (семьсот шестьдесят) тысяч рублей в год из расчета на один автоклав.