

## ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н. Мухопода Александра Юрьевича на диссертационную работу Кетова Александра Сергеевича «Разработка и исследование устройства параллельного управления сложными системами на основе алгоритма нечетких множеств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.**

### Актуальность темы работы

Диссертация Кетова А.С. посвящена вопросам разработки параллельного высокоскоростного регулятора, основанного на алгоритме нечетких множеств Мамдани. Наличие подобных регуляторов, позволяющих одновременно управлять несколькими объектами, дает возможность совершенствовать системы автоматического управления большими, быстропротекающими технологическими процессами в различных отраслях. Нечеткий регулятор, результаты проектирования и исследования которого приведены в диссертации, имеет высокую скорость реакции на входное отклонение ошибки регулирования, возможность интеграции карты защит и масштабирования. Это дает возможность применять его в системах управления на различных уровнях абстракции. Ввиду вышесказанного, а так же наблюдаемой тенденции усложнения высокотехнологичных объектов управления, актуальность темы работы не вызывает сомнения.

### Структура диссертации

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 87 наименований, содержит 120 страниц.

**Во введении** диссертации представлены цель и задачи исследования, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены обоснования достоверности и апробации полученных результатов, пояснена актуальность темы и степень ее разработанности.

**Первая глава** посвящена анализу проблем и методов управления в условиях неопределенности. Был сделан обзор существующих регуляторов, включая



зарубежные патенты на полезные модели и изобретения. Описаны характеристики, требуемого на сегодняшний день регулятора и проведена первичная постановка задачи на разработку. Произведен выбор алгоритма и направление его модификации.

**Во второй главе** подробно описан выбранный алгоритм Мамдани. Проведен анализ реализации регулятора при его программной и аппаратной реализации. Анализ проведен при помощи теории графов. Выбрано вычислительное ядро. Был проведен синтез регулятора на основании модифицированного алгоритма.

**Третья глава** посвящена непосредственно разработке регулятора с описанием математического аппарата и алгоритмов. Подробно описаны термы с преимуществами и недостатками. Приведены примеры реализации блоков для программируемых интегральных логических схем в виде схемы RTL, где видна параллельная структура регулятора. Представлена работа карты защит объекта управления. Так же в работе приведено описание стенда для тестирования регулятора.

**В четвертой главе** представлена стадия тестирования параллельного регулятора на аналоговых моделях управления. Аналоговые модели позволили Кетову А.С. оценить работу самого регулятора, так как задержку реакции моделей можно не учитывать.

Вспомогательные материалы вынесены в приложения, содержащие свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и патент на промышленный образец.

### **Научная новизна работы**

1. В диссертации предложен способ параллельной обработки выработки управляющего воздействия в регуляторе, основанном на нечетких множествах, позволяющий увеличить быстродействие систем управления объектами.

2. Предложен оригинальный метод интеграции карт защит и регулятора, что дало возможность применения сложных алгоритмов защиты объекта.



### **Практическая значимость работы**

Результаты диссертации внедрены в производство компании АО «НПФ «Микран», что подтверждается соответствующим актом.

Разработано устройство для автоматического управления объектами с высоким быстродействием, не имеющих аналогов в России.

Регулятор, результаты разработки которого отображены в четвертой главе, может использоваться как самостоятельное устройство управления, так и в составе автоматической системы управления. Подобные регуляторы могут служить основой для автоматизированных систем нового поколения.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием существующих методов анализа и синтеза. Предложенный метод параллельного вычисления управляющего воздействия подтверждается результатами экспериментальных исследований. По теме научных исследований опубликованы 4 статьи в едином авторстве, имеется патент № 171649 РФ, МПК G05B 13/02 на устройство параллельного управления распределенными системами, так же имеется регистрация программы в РОСПАТЕНТе, свидетельство №2016663156 от 10.10.2016.

### **Оценка содержания и оформления диссертации.**

Диссертация отличается внутренним единством и завершенностью, глубиной системного анализа, написана ясно и относится к числу работ высокого научного уровня и практической значимости.

Автореферат достаточно хорошо отражает содержание диссертационной работы. Тема диссертации и ее содержание соответствуют выбранной специальности.

### **По диссертации имеются следующие замечания:**

1. Во второй главе описаны алгоритмы нечеткого вывода, но отсутствует сравнение этих алгоритмов со стандартными ПИД регуляторами.



2. В третьей главе при выборе вычислительного ядра написано, что ПЛИС поддерживает неограниченное количество вычислительных потоков, что не совсем верно. Количество потоков ограничено емкостью кристалла.

3. В четвертой главе тестируется регулятор на двух моделях объектов и утверждается, что архитектура ПЛИС позволяет масштабировать регулятор на множество объектов. Хотелось бы видеть подтверждение временных характеристик при управлении нескольких десятков устройств.

### Заключение о соответствии диссертации критериям ВАК

Не смотря на замечания общее впечатление от диссертационной работы очень хорошее. Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком уровне. По актуальности, научной новизне, практической значимости, степени апробации диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Кетов Александр Сергеевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент доктор технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов» Иркутского государственного университета путей сообщения

Мухопад А.Ю.



Подпись официального оппонента, доктора технических наук, доцента кафедры АПП Иркутского государственного университета путей сообщения Мухопад Александра Юрьевича заверяю.