

На правах рукописи



Сачко Максим Анатольевич

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМУ
СИНТЕЗУ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Владивосток - 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»

Научный руководитель:

Кривошеев Владимир Петрович,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и систем ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», г. Владивосток.

Официальные оппоненты:

Дыда Александр Александрович,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматических и информационных систем ФГБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского», г. Владивосток.

Горькавый Михаил Александрович,
кандидат технических наук, доцент кафедры управления инновационными процессами и проектами ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», г. Комсомольск-на-Амуре.

Ведущая организация:

ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления» ДВО РАН, г. Владивосток.

Защита состоится «___» декабря 2014 г. в ___ часов ___ минут на заседании диссертационного совета Д 212.092.04 в ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 201/3

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» www.knastu.ru.

Автореферат разослан «___» октября 2014 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Суздорф Виктор Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Современные системы автоматизации производства позволяют обеспечить непрерывный производственный процесс в режимах с наилучшими технико-экономическими показателями по объёму производства, качеству выпускаемой продукции и энергосбережению. При этом уменьшается доля участия человека в производственном процессе и возрастает необходимость в высококвалифицированных специалистах по созданию и сопровождению систем автоматического управления (САУ) технологическими процессами (ТП).

Эффективность функционирования систем автоматизации производства напрямую зависит от компетентности оперативно-диспетчерского персонала (ОДП), которые обслуживают эти системы. С целью повышения качества обслуживания САУ ТП необходимо контролировать и повышать уровень знаний (УЗ) ОДП в ключевых для него областях знаний.

За качество и компетентность специалистов предприятия отвечают системы управления персоналом (Human Resources Management – HRM). За автоматизацию подобных задач отвечают автоматизированные системы управления (АСУ) класса HRM, функции которых пересекаются с работой автоматизированных систем управления производствами (АСУП). Несмотря на актуальность и экономическую эффективность АСУ класса HRM, её задачи мало исследованы российскими учеными, особенно в вопросах оценки и повышения УЗ ОДП.

Одной из основных компетенций ОДП являются знания и умения проведения структурного синтеза (СС) и параметрического синтеза (ПС) САУ. СС, как правило, проводится один раз на этапе проектирования, а необходимость проведения ПС САУ существует на всех этапах её функционирования. По этой причине для ОДП знания методик проведения ПС САУ является важным компонентом его профессиональных компетенций. Таким образом, контроль, формирование и закрепление компетенций (КФЗК) ОДП является важными задачами HRM, выполнение которых положительно влияет на качество функционирования САУ ТП. При этом, в условиях непрерывной занятости ОДП на производстве, автоматизация задач HRM возможна за счет применения современных средств организации и интеллектуализации самообучения персонала. Это достигается за счёт использования автоматизированных обучающих систем (АОС), созданных на базе информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) в сочетании с применением методов нечеткой логики.

Согласно работам Данилюка С.Г., Ларичева О.И., Маслова В.Г., Петрушина В.А., Попова Э.В., Рыбиной Г.В., использование нечёткой логики позволяет интеллектуализировать действия обучающего, что при совместном использовании с АОС делает организацию КФЗК более эффективной по сравнению с классическими подходами. При этом, сравнивая с другими методами интеллектуализации, нечёткая логика и экспертные системы (ЭС), в частности, позволяют организовать данный процесс с большой долей достоверности и с минимальными временными затратами, необходимыми для реализации подобных систем.

Проведённый анализ научных работ в области интеллектуализации изуче-

ния ПС САУ показал отсутствие подобных решений. Имеет место противоречие, состоящее в необходимости КФЗК ОДП с одной стороны, и отсутствием средств и методов эффективной его организации посредством интеллектуализации с другой стороны. По этой причине интеллектуализация КФЗК ОДП в области проведения ПС САУ ТП является **актуальной задачей**.

Объект исследования: автоматизированная система управления персоналом промышленного предприятия на примере предприятий нефтехимической промышленности и теплоэнергетики.

Предмет исследования: методы и средства интеллектуализации КФЗК на основе нечёткой логики.

Цель работы: повышение эффективности работы системы управления персоналом за счёт интеллектуализации её задач по контролю, формированию и закреплению компетенций ОДП в области теории автоматического управления (ТАУ) и ПС САУ, в частности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**.

1. Определить место КФЗК ОДП, обслуживающих АСУТП, в структуре АСУП.
2. Проанализировать методы и средства проведения ПС САУ, способы интеллектуализации КФЗК и сформулировать требования к построению интеллектуальной системы для КФЗК ОДП по ПС САУ.
3. Провести алгоритмизацию методов ПС и их реализацию на примере одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ.
4. Разработать и алгоритмизировать аналитический метод расчёта компенсирующих устройств для комбинированных САУ.
5. Разработать методы интеллектуализации контроля уровня знаний ПС одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ.
6. Создать интеллектуальную систему для КФЗК ОДП по ПС САУ ТП, проверить её эффективность и определить экономический эффект от её внедрения.

При решении поставленных задач использованы следующие **методы исследования:**

- теоретические (анализ учебной, технической, научно-методической и психолого-педагогической литературы по проблеме исследования; анализ программ и учебных пособий, применяющихся при изучении ПС САУ);
- общенаучные (анализ процесса самостоятельного обучения, обобщение педагогического опыта преподавателей, в том числе личного);
- аналитические (аналитический вывод математических выражений теории управления к легко реализуемому на ЭВМ виду);
- алгоритмические (применение методов инженерии программного обеспечения и объектно-ориентированного подхода в программировании).

Практическая ценность работы представляет собой разработанная кроссплатформенная экспертная обучающая система (ЭОС), предназначенная для организации повышения квалификации и контроля базовых знаний ОДП по ТАУ без отрыва от производства.

Полученные результаты могут использоваться для повышения эффективности автоматизированных систем управления персоналом нефтехимического производства, теплоэнергетики и других промышленных производств.

Апробация и внедрение результатов исследования. Теоретические положения и основные результаты исследования докладывались и обсуждались на: VII, VIII, X, XI, XIII и XIV Международных конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных (г. Владивосток, ВГУЭС, 2005-2012); XIX и XXI XXIII XXIV XXV международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (г. Саратов, г. Смоленск и г. Киев 2005-2012); Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых исследователей «Теоретические знания и практические дела» (г. Омск, филиал ГОУ ВПО РосЗИТП, 2008); Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы управления и автоматизации процессов и производств» (г. Уфа, УГНТУ, 2010); Международная заочно научно-техническая конференция «Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации» (г. Тольятти, 2012, 2013); Международной Китайско-Русской конференции по информационным технологиям. (Китай, г. Шеньян, 2011). Основные выводы работы опубликованы в тезисах: XXXII, XXXIII Дальневосточной математической школы-семинара имени академика Е.В. Золотова (г. Владивосток, ДВО РАН, 2007, 2008), международного симпозиума «Химия и химическое образование» (г. Владивосток, ДВГУ, 2008); в журналах: «Вестник ВГУЭС. Территория новых возможностей. Проблемы. Мнения. Дискуссии. События» (г. Владивосток, 2009-2013), «Информатика и системы управления» (г. Благовещенск, 2010), «Современные проблемы науки и образования» (г. Москва, 2012, 2013).

Материалы диссертационной работы и её научные выводы доложены на научных семинарах Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (г. Владивосток, 2008, 2009, 2012).

Получено четыре свидетельства о регистрации программ для ЭВМ федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Все основные результаты работы приняты к использованию на производстве и в рамках организации самообучения специалистов Благовещенской теплоэлектроцентрали. Они внедрены в учебный процесс Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС), Дальневосточного федерального университета (ДФУ) и Дальневосточного государственного технического университета (ДВГТУ).

Полученные результаты использовались в рамках работы над грантом Министерства образования и науки РФ: 7.2704.2011 «Параметрический синтез автоматических систем управления процессами химической технологии и теплоэнергетики».

Научная новизна.

1. Разработана методика проектирования интеллектуализированной системы КФЗК ОДП АСУТП на основе теории нечёткой логики, в которой реализованы новые методы расчета настроечных параметров регулирующих и компенсирующих устройств типовых САУ.

2. Разработан новый аналитический метод расчёта реальных компенсаторов и развязывающих устройств в виде типовых звеньев для обеспечения возможности интеллектуализации проведения ПС комбинированных САУ обслуживаемым АСУТП персоналом.

3. Предложен аналитический метод расчёта расширенной амплитудно-фазовой характеристики (РАФХ) по передаточной функции с полиномами любого порядка на основе бинома Ньютона для обеспечения возможности алгоритмизации частотных методов ПС САУ.

На защиту выносятся.

1. Метод контроля УЗ ПС одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ, как средство интеллектуализации процесса его самостоятельного изучения.

2. Метод контроля выбора заданных точек на графиках РАФХ и линии Д-разбиения.

3. Аналитический метод расчёта реальных компенсаторов и развязывающих устройств в виде реальных дифференцирующих, интегро-дифференцирующих и неминимальнофазовых инерционных звеньев.

4. Метод расчёта РАФХ по передаточной функции с полиномами любого порядка на основе бинома Ньютона.

5. Алгоритм работы экспертной системы для автоматизации процесса КФЗК ОДП, на примере самообучения ПС одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ ТП.

Достоверность результатов исследования. Методы проведения ПС выведены аналитическим методом, что даёт возможность проверить правильность вывода. Применены достоверные и широко известные методики теоретических исследований САУ и принципы построения экспертных систем на основе нечёткой логики. Результаты расчёта и моделирования согласуются с результатами, приведёнными в работах Е.П. Стефании, Е.Г. Дудникова и В.Я. Ротача.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 21 опубликованной работе, в том числе в 11 статьях, из которых 6 опубликованы в рецензируемых изданиях, входящих в действующий перечень ВАК, в 4-х свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации некоторых полученных результатов проводилась совместно с соавторами при определяющем вкладе автора. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, общих выводов, 4-х приложений и списка используемых источников, состоящего из 169 наименований. Она содержит 198 страниц, включая 53 рисунков и 14 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи, определены методы решения задач. Раскрыта научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и внедрении результатов работы, структура и краткое содержание работы.

В первой главе рассматриваются вопросы использования HRM систем и их место в структуре АСУ промышленных предприятий на примере нефтехимической промышленности и теплоэнергетики. Выделены наиболее часто встречаемые САУ АСУТП ОАО «НК Роснефть-КНПЗ» и ОАО «Дальневосточная генерирующая компания» («ДГК»). Рассмотрены средства интеллектуализации КФЗК обслуживающего САУ ТП персонала.

В работах Горькавого М.А., Крехова Е.В., Новикова В.Н. и Плотникова С.В., посвященных задачам HRM, особое внимание отводится процессу определения компетенций специалистов, но при этом практически не затрагивается вопрос формирования и закрепления компетенций на заданном для специалиста уровне.

В свою очередь, вопросы КФЗК осяцены в работах Агарева В.А., Грушевского С.П., Данилюка С.Г., Добровольской Н.Ю., Кольцова Ю.В., Лайко Н.В., Линькова В.М., Линьковой А.В., Плотниковой С.В., Роберт И.В., Хоменко Т.В. и многих других. В большинстве работ, посвящённых данной проблеме, отмечается необходимость повышения уровня информационного обеспечения процесса КФЗК за счёт ИКТ.

Работы Абакумовой Е.В., Брановского Ю.С., Братищенко В.В., Давыдовой Т.В., Коваленко Д., Кривошеевой Е.А., Цыпленковой Е.В., Шапошниковой Т.Л., Швецовоу С.В. показывают востребованность и эффективность применения АОС для КФЗК, в том числе и в составе HRM-систем. При этом можно отметить, что реализация КФЗК обычно возлагается на сторонние учебные центры, а применение АОС позволяет выполнять их без отрыва от производства с помощью их интеграции с системами управления персоналом.

В работах Андриевского Б.Р., Горькавого М.А., Первозванского А.А., Степаненко В.Е., Фрадкова А.Л. предлагается АСУ производственным процессом (ПП) представлять в виде человеко-машинной системы с обратной связью и двумя задающими воздействиями (с чётким детерминированным значением вектора $x_{вх}$ и неопределённым (нечётким) значением вектора $\tilde{x}_{вх}$). Решение по управлению и повышению эффективности производственного процесса на основе вектора $\tilde{x}_{вх}$ принимаются сотрудниками – специалистами определённой предметной области. Повышения качества канала управления нечёткого канала по задающему воздействию напрямую зависит от компетентности сотрудников.

Для повышения эффективности и качества управления в данной системе Горькавым М.А. предложено модифицировать контур обратной связи и включить в него модули формирования модели компетенций (МК) и контроля на их основе базовых компетенций сотрудников без учёта возможности формирования и закрепления самих базовых компетенций. Для устранения данного недо-

чёта предлагается добавить в контур обратной связи блок КФЗК.

В состав КФЗК (рисунок 1) входит учебно-методический комплекс, состоящий из учебного материала (УМ) и практического инструментария (ПИ), необходимого для формирования и закрепления компетенций, а также система тестирования (СТ) для их контроля. Экспертная система (ЭС) анализирует УЗ сотрудника на каждом этапе работы КФЗК, и на основе МК формирует решение по его направлению на повторную итерацию или в ПП.

В связи с особенностью работы ЭС необходимо интеллектуализировать процесс анализа УЗ сотрудников в ключевых для них областях. Т.к. одной из ключевых компетенций ОДП АСУТП является ПС, необходима интеллектуализация определения УЗ ПС.

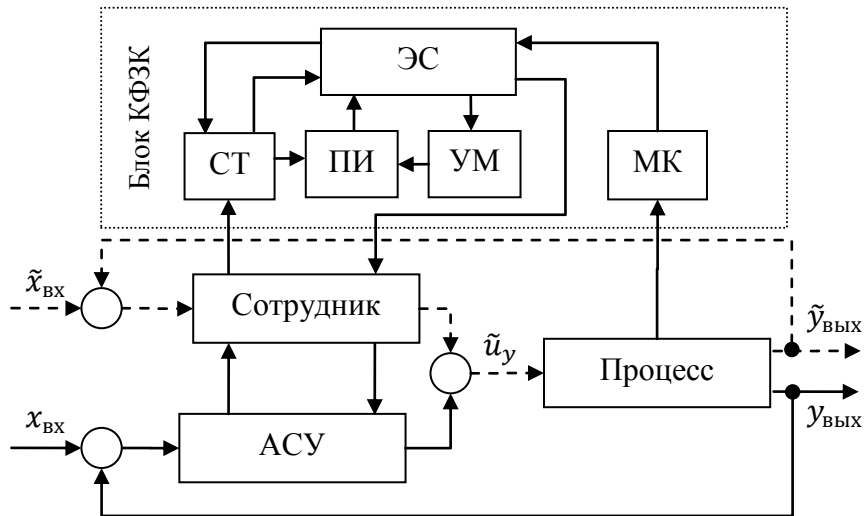


Рисунок 1 - Человеко-машинная система управления производственным процессом

Разработкой программных комплексов для проведения ПС в составе подобных систем занимались: Дмитриев В.М., Доронина Ю.В., Гарганеев А.Г., Зайченко Т.Н., Кондратьева Л.П., Клиначёв Н.В., Колесов Ю.Б., Никитин А. В., Суходоев М.С. Целигоров Н.А., Целигорова Е.Н. и многие другие. Однако, используемые ими технологии не позволяют интеллектуализировать весь процесс изучения ПС. Также в указанных работах рассмотрен узкий перечень типовых САУ, применяемых при автоматизации ТП, что ограничивает сферу их применения.

Учитывая эффективность в сочетании с относительно простотой реализацией ЭОС для интеллектуализации получения знаний, целесообразно использовать принципы её построения для автоматизации выполнения задач НРМ КФЗК и изучению ПС САУ ТП.

Вторая глава посвящена исследованию возможности интеллектуализации контроля проведения ПС САУ ТП при помощи нечёткой логики.

Важнейшей составляющей интеллектуализации образовательного процесса является контроль УЗ, необходимых для решения поставленной задачи. Выделены основные этапы изучения ПС одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ, а также установлены методы интеллектуализации контроля его

проведения.

Установлено, что основная часть проведения ПС состоит из построения графиков с дальнейшим поиском на них требуемых точек согласно заданным условиям. В связи с этим, одним из основных критериев УЗ ПС является точность определения требуемой точки на графике. Для интеллектуализации данного этапа проведения ПС введена лингвистическая переменная (ЛП) «Расстояние до точки» с соответствующими терминами «Совпадает», «Близко -/+», «Далеко -/+» и «За пределом -/+». Для построения функций принадлежности (ФП) термов ЛП (рисунок 2) используется П-образная функция, формируемая произведением двух сигмоидальных функций.

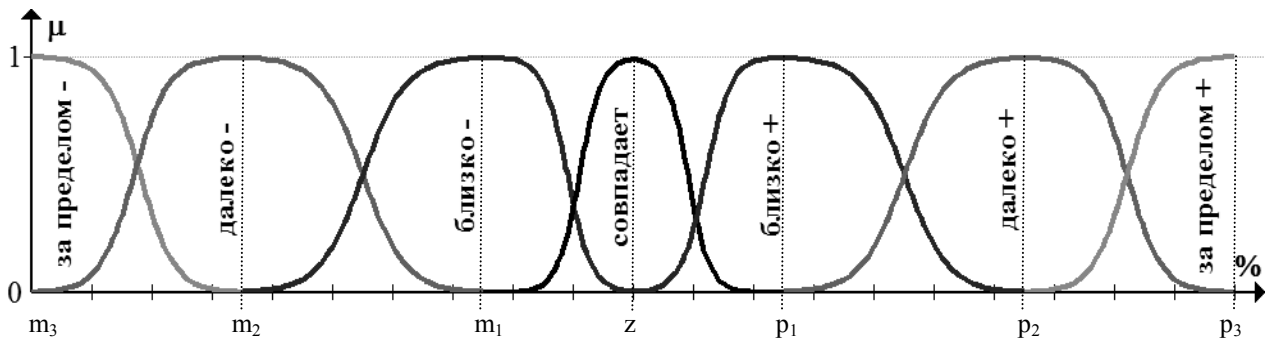


Рисунок 2 – Функции принадлежности для лингвистической переменной «Расстояние до точки»

Значения границ z , m_{1-3} и p_{1-3} ФП термов ЛП «Расстояние до точки» определяются в зависимости от типа графика и исходных условий поставленной задачи.

Контроль УЗ оценивается с помощью ЛП «Знания» (рисунок 3) с соответствующими терминами «Плохо», «Удовлетворительно», «Хорошо» и «Отлично».

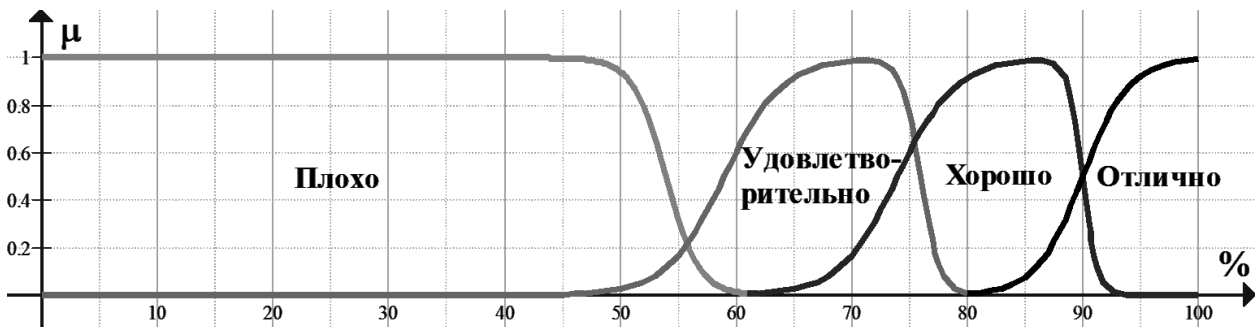


Рисунок 3 – Функции принадлежности для лингвистической переменной «Знания»

В результате, для интеллектуализации изучения ПС необходимо составить правила нечёткой базы знаний (БЗ), где посылка правил основана на ЛП «Расстояние до точки», а заключением правил является критерий УЗ, основанный на ЛП «Знания». Используемые ЛП дают возможность эксперту заполнять БЗ, оперируя понятными ему определениями.

Ниже рассмотрены основные принципы проведения ПС одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ и описаны способы интеллектуализации

его изучения.

В одноконтурных САУ рассматриваются задачи ПС с пропорционально-интегральным (ПИ), пропорционально-дифференциальным (ПД), пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законами управления на основе расширенных амплитудно-фазовых характеристик (РАФХ) для заданной степени колебательности.

В этом случае задача ПС включает следующие этапы:

1. Определение начальной ω_n и конечной ω_k частот для построения линии Д-разбиения, удовлетворяющей заданному значению степени колебательности в плоскости настроечных параметров выбранного типа регулятора.
2. Определение рабочей частоты $\omega_{раб}$ на линии Д-разбиения и настроечных параметров регулятора, удовлетворяющих наилучшему значению критерия качества переходного процесса.

Для первого этапа ПС одноконтурной САУ по выбору обучаемым ω_n и ω_k на графике РАФХ (рисунок 4) сформированы правила на основании ЛП «Расстояние до точки».

Угол $\gamma_{зад}$ на рисунке 4 предопределяется требованиями на запас устойчивости САУ. При ПС каждому из рассматриваемых регуляторов для удовлетворения указанных выше условий соответствует свой диапазон частот, определяемый по графику РАФХ. Для ПИ-регулятора он от ω_1 до ω_2 , для ПД-регулятора от ω_2 до ω_3 , для ПИД-регулятора от ω_1 до ω_3 . В связи с этим, точки с указанными частотами являются искомыми точками. Для определения точности достижения каждой из них применяется ЛП «Расстояние до точки».

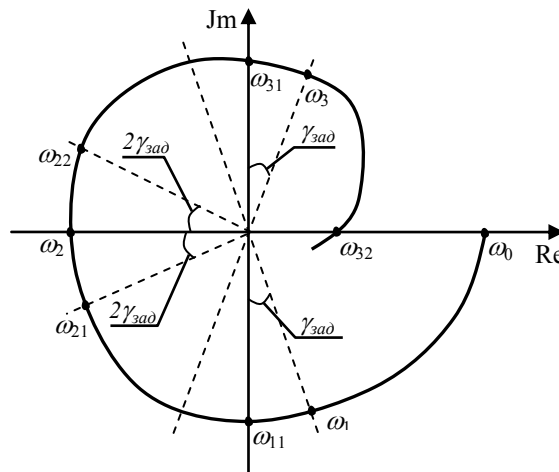


Рисунок 4 – Расширенная амплитудно-фазовая характеристика объекта управления

В качестве базовой переменной используется процентное соотношение длины рассматриваемого отрезка графика от искомой точки до выставленных экспертами значений границ m_{1-3} и p_{1-3} ФП термов ЛП «Расстояние до точки» (рисунок 2).

В таблице 1 приводятся выбранные экспертами значения границ ФП термов ЛП «Расстояние до точки» для каждой из этих точек, где $m_{1,2}$ и $p_{1,2}$ процентное соотношение отрезка на частотах m_{3-z} и $z-p_3$.

Таблица 1 – Границы термов лингвистической переменной «Расстояние до точки»

Искомая точка z	m_3	m_2	m_1	p_1	p_2	p_3
ω_1	ω_0	35	75	30	85	ω_{11}
ω_2	ω_{21}	35	75	25	65	ω_{22}
ω_3	ω_{31}	15	70	25	65	ω_{32}
$\omega_{\text{раб}}$	$\omega_{\text{н}}$	20	84	30	80	$\omega_{\text{к}}$
$\omega_{\text{комп}}$	0	30	80	20	60	$2\omega_{\text{раб}}$

Для второго этапа ПС контроль правильности выбора $\omega_{\text{раб}}$ и соответствующих ей настроек регулятора также выполняется по ЛП «Расстояние до точки» согласно данным таблицы 1. Из работ Е.Г. Дудникова известно соотношения $\omega_{\text{раб}} = 1,2 * \omega_{\text{max}}$ (ω_{max} – частота, соответствующая экстремуму на линии Д-разбиения).

Далее, используя заполненную экспертом БЗ, определяется критерий УЗ по ЛП «Знания».

В каскадных САУ сущность ПС состоит в итерационном расчёте настроек стабилизирующего и корректирующего регуляторов. Расчёт заканчивается при достижении заданной величины рассогласования между настроечными параметрами регуляторов на текущем и предыдущем шагах.

В связи с изложенным, при контроле изучения ПС каскадной САУ нужно использовать те же методы, что и при изучении ПС одноконтурных САУ. Соответственно, для контроля УЗ ПС используются ЛП «Расстояние до точки» и ЛП «Знания» также, как и при ПС одноконтурной САУ. Так как все этапы ПС одноконтурных САУ здесь проводятся неоднократно, то в качестве выходных параметров используют усреднённый показатель ЛП «Знания» на этапе выбора диапазона частот и на этапе выбора рабочей частоты.

В комбинированных САУ ПС состоит из двух основных этапов: расчёта настроечных параметров регулятора, аналогично ПС одноконтурной САУ, и расчёта настроечных параметров компенсирующего устройства. Для повышения эффективности ПС и возможности интеллектуализации контроля его проведения предлагается аналитический метод определения параметров компенсирующих устройств, описанный в третьей главе. СС и ПС компенсаторов включает в себя построение вектора АФХ идеального компенсатора, выбор реального компенсатора и определение его оптимальных настроечных параметров.

Процесс определения критерия УЗ ПС комбинированной САУ начинается с определения правильности выбора типа реального компенсатора. Результат выбора типового звена для реализации реального компенсатора оценивается ЛП «Тип компенсатора» по термам «Лучший», «Хороший», «Нормальный», «Плохой» (рисунок 5).

Далее, для построения вектора АФХ и определения оптимальных настроечных параметров компенсатора необходимо выбрать точку, соответствующую рабочей частоте на графике АХФ реального компенсатора. Выбор оценивается по ЛП «Расстояние до точки» (рисунок 2) с параметрами, соответствующими точке $\omega_{\text{комп}}$ в таблице 1.

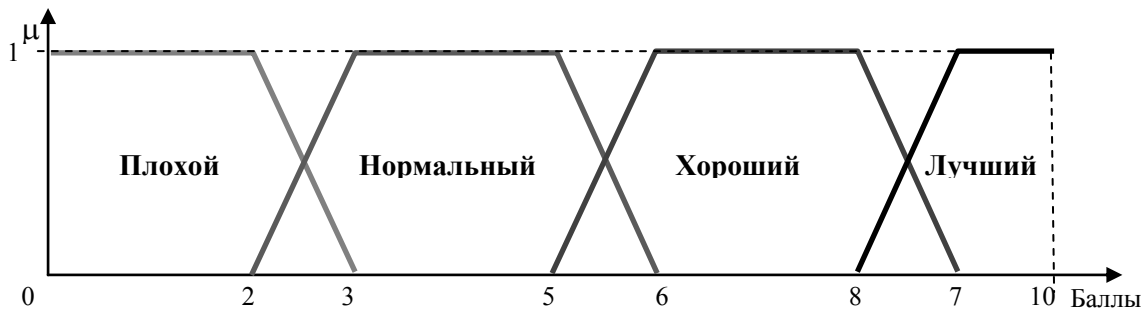


Рисунок 5 – Функции принадлежности лингвистической переменной «Тип компенсатора»

Итоговый критерий УЗ ПС комбинированной САУ определяется по ЛП «Знания», как заключения правил БЗ, посылкой которых являются ЛП «Тип компенсатора», «Расстояние до точки» и критерия УЗ нахождения настроечных параметров регулятора.

Все выше описанные методы реализованы в разработанной ЭОС «Студиум».

Графический интерфейс ЭОС «Студиум» представляет собой кросс-платформенную оболочку, разработанную средствами библиотеки Qt и языка программирования C++. Он включает в себя пользовательскую и администраторскую реализации.

Пользовательская реализация ЭОС «Студиум» позволяет: выполнять просмотр теоретического материала, списка лабораторных заданий, уровня их усвоения; проводить самотестирование; производить ПС одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ согласно выданным ЭОС рекомендациям. Администраторская реализация предоставляет возможность редактирования всех хранимых в системе данных и правил БЗ.

В третьей главе рассматриваются методы ПС САУ и их алгоритмизация. Рассматривается методика расчёта расширенной амплитудно-фазовой характеристики и интегрального квадратичного критерия для систем, содержащих звенья чистого запаздывания, с произвольными степенями полиномов числителя и знаменателя передаточной функции. Здесь также описывается ПС одноконтурной, каскадной и комбинированной САУ.

Получение расширенной АФХ из передаточной функции. При ПС САУ для выполнения условий по качеству применяют расширенные АФХ (РАФХ). РАФХ получают в виде комплексного выражения с мнимой $\text{Im}(m, \omega)$ и действительной $\text{Re}(m, \omega)$ частями из передаточной функции

$$W(s) = K \left(\sum_{i=0}^g b_i s^i \div \sum_{k=0}^h a_k s^k \right) \cdot e^{-\tau s}, \quad (1)$$

придавая оператору Лапласа s выражение, содержащее частоту ω и показатель качества САУ, например в виде степени колебательности m ,

$$s = \omega \cdot (j - m),$$

где j – мнимая единица.

В выражении (1) K , a_k , b_i , τ – постоянные коэффициенты, определяемые физическими параметрами звена (системы).

Предложен метод построения РАФХ без ограничения на порядки числителя и знаменателя передаточной функции (1) на основе биннома Ньютона.

Оценка качества САУ является завершающим этапом исследования. В работе использовался интегральный квадратичный критерий качества переходного процесса. Его значение получено по известным аналитическим выражениям для систем без транспортного запаздывания. Передаточные функции звена транспортного запаздывания при этом представляются рядом Паде.

Расчёт комбинированных САУ.

Различают два вида компенсации возмущающего воздействия (рисунок 6). В первом случае компенсирующий сигнал u_{k1} от компенсатора $R_k(s)$ подаётся на вход объекта $W_u(s)$. Передаточная функция компенсатора $R_k(s)$ в этом случае имеет вид:

$$R_k(s) = -\frac{W_x(s)}{W_u(s)}. \quad (2)$$

Во втором случае сигнал u_{k2} от компенсатора $R_k(s)$ подаётся на вход регулятора $R(s)$. В этом случае имеем:

$$R_k(s) = -\frac{W_x(s)}{W_u(s) \cdot R(s)}. \quad (3)$$

Для практической реализации компенсирующих и развязывающих устройств в качестве реальных используют реальные дифференцирующие, интегро-дифференцирующие и неминимальнофазовые инерционные звенья.

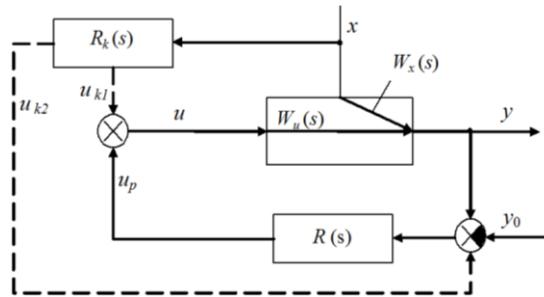


Рисунок 6 – Структурные схемы комбинированной САУ при подаче компенсирующего сигнала на вход объекта u_{k1} и на вход регулятора u_{k2}

Предлагается аналитический метод расчёта оптимальных значений настроечных параметров указанных компенсаторов, позволяющий в отличие от известных методов избежать графических построений.

Например, для интегро-дифференцирующего звена с передаточной функцией

$$W_k^p(s) = k \frac{T_B s + 1}{T_S s + 1}, \quad (4)$$

при условии нахождения вектора $W_k(j \cdot \omega_p)$ в области реализуемости данного звена (рисунок 7) получены аналитические выражения:

$$T = \frac{1}{\omega_p} \cdot \sqrt{\frac{k - \operatorname{Re}_k(\omega_p)}{\operatorname{Re}_k(\omega_p) - \operatorname{Re}_k^p(\infty)}}, \quad (5)$$

$$T_B = T \cdot \frac{W_k^p(\infty)}{k}, \quad (6)$$

где $W_k^p(\infty) = \operatorname{Re}_k^p(\infty) = \operatorname{Re}_k(\omega_p) - \frac{\operatorname{Im}_k^2(\omega_p)}{W_k(0) - \operatorname{Re}_k(\omega_p)}$,

$$k = \operatorname{Re}_k(0) = W_k(0).$$

В **четвертой главе** приводятся результаты проверки работоспособности и эффективности созданной экспертной обучающей системы (ЭОС) и расчёт экономического эффекта от её внедрения в ОАО «НК Роснефть-КНПЗ» и в филиале ОАО «ДГК» «Амурская генерация».

Модель нечёткого вывода для определения УЗ ПС в экспертной обучающей системе, созданная при помощи программы fuzzyTECH, показала, что:

- предложенные правила нечёткой базы знаний обучающей системы адекватно реагируют на все действия обучаемого, необходимые для проведения ПС САУ;

- блок логического вывода экспертной системы корректно обрабатывает подаваемые в него исходные данные;

- полученные на выходе критерии УЗ всех промежуточных и конечных этапов проведения ПС САУ соответствуют ожиданиям экспертов.

На рисунке 10 приведены результаты определения общего уровня УЗ проведения ПС САУ. Его определение осуществлялось с помощью мнения эксперта, данных, полученных с помощью ЭОС, а также на основе среднеарифметических оценок критерия УЗ всех промежуточных этапов и среднеарифметических оценок критерия УЗ конечных этапов ПС одноконтурной, каскадной и комбинированной САУ.

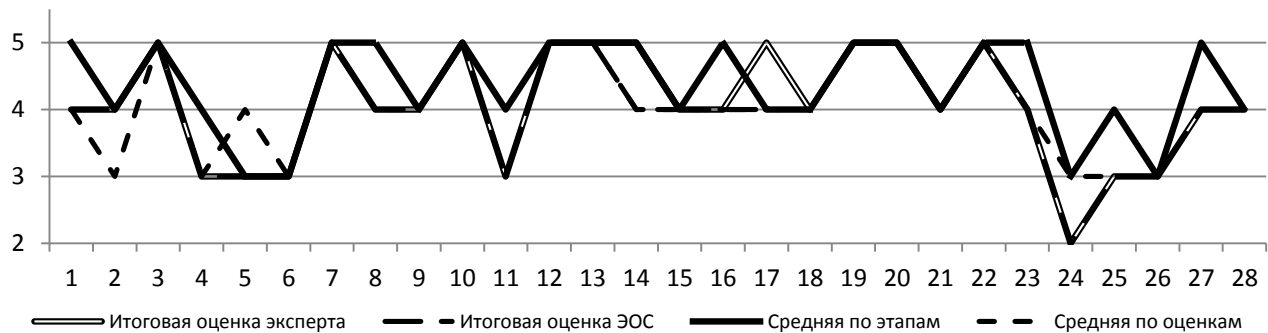


Рисунок 10 – Итоговые критерии УЗ проведения ПС САУ

Общий уровень знаний принципов проведения ПС САУ оценивается итоговым критерием в виде ЛП «Знания», сформированной из критериев УЗ проведения ПС одноконтурной, каскадной и комбинированной САУ. Данные критерии получены для группы из 28 человек. Здесь термам ЛП «Знания»: «Плохо», «Удовлетворительно», «Хорошо» и «Отлично» соответствуют значения от 2 до 5 на оси ординат.

Итоговые критерии УЗ ПС, выставленные экспертом, отличаются на:

- 36% от значений среднеарифметических критериев УЗ проведения промежуточных этапов ПС САУ;

- 18% от значений среднеарифметических критериев УЗ проведения ко-

нечных этапов ПС САУ;

- 7% от значений критериев УЗ выставленных ЭОС.

В результате установлено, что данные, полученные с помощью ЭОС, достаточно близки к мнению эксперта и в 2,5-5 раз точнее среднеарифметических значений. Таким образом, интеллектуализация обучения на базе ЭОС, способна с высокой достоверностью определять уровень знаний обучаемых по ПС САУ ТП и впоследствии выдавать рекомендации по его закреплению и повышению.

Экономический эффект от внедрения ЭОС в АСУП ОАО «НК Роснефть-КНПЗ» и филиале ОАО «ДГК» «Амурская генерация», а также затраты на реализацию проекта и его инвестиционную привлекательность приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение показателей инвестиционной привлекательности проекта

Наименование показателя	Расчётное значение	
	НК Роснефть-КНПЗ	Амурская генерация
Срок реализации проекта, месяцы	60	
Среднее кол-во обучаемых человек в год	64	80
Экономия средств на обучение ОДП в течение 5 лет, руб.	901120	807040
Среднее кол-во претендентов на должности ОДП в год, человек	168	120
Экономия средств при проведении собеседований в год, руб.	47880	10440
Суммарная выгода в год, руб.	228104	171848
Затраты на разработку и внедрение ЭОС, отнесенные к предприятию, руб.	292500	292500
Трудозатраты на разработку и внедрение, человек/час	2160	2160
Доход от реализации проекта, руб.	1140520	859240
Чистая прибыль, руб.	848020	566740
Срок окупаемости, месяцы	16	21

Результаты расчёта инвестиционной привлекательности проекта подтверждают экономическую обоснованность его реализации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведенный анализ структуры предприятий ОАО «НК Роснефть-КНПЗ» и ОАО «ДГК», а также должностных инструкций ОДП и обслуживаемых ими САУ ТП, показал необходимость и востребованность систем автоматизации контроля, формирования и закрепления компетенций ОДП в ключевых областях знаний. Выделены одноконтурные, каскадные и комбинированные САУ, как наиболее востребованные на данных производствах.

2. В связи с недостатком решений, позволяющих автоматизировать выполнение задач HRM по КФЗК ОДП АСУТП, установлена необходимость интеллектуализировать изучение ПС САУ ТП с помощью ЭОС, как наиболее значимой для него области знаний. Это возможно за счёт использования нечёткой логики при определении уровня знаний ПС.

3. Разработан аналитический метод расчёта расширенной амплитудно-фазовой характеристики по передаточной функции с полиномами любого порядка и на его основе произведена алгоритмизация частотных методов ПС одноконтурных и каскадных САУ.

3. Разработан и алгоритмизирован аналитический метод расчёта реальных компенсаторов и развязывающих устройств в виде: реальных дифференцирующих, интегро-дифференцирующих и неминимальнофазовых инерционных звеньев.

4. Для интеллектуализации КФЗК в ТАУ разработана база знаний и методы построения функций принадлежности для оценки правильности определения оптимальных настроечных параметров регуляторов в одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ на основе расширенных АФХ и оптимальных настроечных параметров компенсаторов на основе аналитического метода расчёта реальных компенсаторов. Моделирование процессов принятия решений по определению УЗ ПС САУ ТП показало, что созданные правила БЗ могут оценить любые действия обучаемого при выполнении этапов ПС.

5. На основе созданных методов и алгоритмов разработана кросс-платформенная ЭОС для автоматизации самостоятельного изучения и исследования одноконтурных, каскадных и комбинированных САУ ТП. Применение ЭОС для КФЗК ОДП показало её эффективность по сравнению с традиционными методами самообучения, а разработанный методы определения УЗ эффективней среднеарифметической оценки на 18% при учёте конечных этапов ПС и на 36% при учёте промежуточных этапов ПС. Отклонение значений УЗ выставленные ЭОС и экспертом составили 7%. Расчёт инвестиционной привлекательности проекта по разработки и внедрения ЭОС в ОАО «НК Роснефть-КНПЗ» и в филиале ОАО «ДГК» «Амурская генерация» показал экономическую обоснованность его реализации. Использование ЭОС на данных предприятиях для обучения теории управления и проведения ПС, в рамках повышения квалификации, а также при собеседовании на должности ОДП АСУТП в течение сроков реализации проекта позволит избежать суммарных затрат на сумму 1414760 рублей.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых журналах из перечня ВАК

1. Кривошеев В.П., Сачко М.А. Аналитический метод расчета типовых компенсаторов и развязывающих устройств. I // Информатика и системы управления. – 2010. – №23 – С.147-155.
2. Кривошеев В.П., Сачко М.А. Аналитический метод расчета типовых компенсаторов и развязывающих устройств. II // Информатика и системы управления. – 2010. – №25 – С.125-136.
3. Кривошеев В.П., Сачко М.А. Аналитический метод расчета типовых компенсаторов и развязывающих устройств. III // Информатика и системы управления. – 2010. – №26 – С.127-136.
4. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Автоматизация оценки качества знаний по параметрическому синтезу САУ // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: www.science-education.ru/106-7665 (дата обращения: 28.10.2013).
5. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Теоретические основы определения уровня знаний при изучении параметрического синтеза одноконтурных и каскадных систем автоматического управления // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11 (часть 9). – стр. 1804-1809; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002728 (дата обращения: 25.03.2014).
6. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Применение нечёткой логики для интеллектуализации обучения параметрическому синтезу комбинированной системы автоматического управления // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3 (часть 3). – стр. 484-489; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002968 (дата обращения: 17.04.2014).

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

7. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Расчет одноконтурных систем («РОС») // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2009611165. Дата регистрации – 20 февраля 2009 г.
8. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Расчет каскадных систем («РКС») // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2009611166. Дата регистрации – 20 февраля 2009 г.
9. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Расчет комбинированных систем («РКоС») // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2009623134. Дата регистрации – 24 июня 2009 г.
10. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Учебно-методический комплекс «Студиум» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2010615361. Дата регистрации – 20 августа 2010 г.

Другие публикации результатов диссертационного исследования

11. Сачко М.А., Кривошеев В.П., Цой С.Ю. Разработка информационно-программного обеспечения для построения переходных процессов в системах управления // Теоретические знания в практические дела: сб. науч. статей международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых исследователей 25 марта 2008 г.: в пяти частях. Ч. 4. – Омск: филиал ГОУ

ВПО «РосЗИТП», 2008. – С. 88-91.

12. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Анализ влияния аппроксимации рядом Паде на точность вычисления интегрального квадратичного критерия // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-21: сб. трудов XXI международной научной конференции.: в 10 т. Т. 6. Секция 12, 13 / под общ. ред. В.С. Балакирева – Саратов: СГТУ, 2008 – С. 288-290.

13. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Расчет и исследование комбинированных систем регулирования с использованием реальных компенсаторов // Вестник ВГУЭС. Территория новых возможностей. Проблемы. Мнения. Дискуссии. События. №1. 2009. – С.103-108.

14. Сачко М.А., Кривошеев В.П., Епифанцев А.В. Разработка информационно-программного комплекса для исследования САУ // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-23: сб. трудов XXIII международная научная конференция в 12 т. Т 12. Секция 14,15 / под общей редакцией В.С. Балакирева. – Смоленск, 2010. С. 151-154.

15. Sachko M.A. Krivosheev V.P., Epifantsev A.V. Automation of control system analysis in educational process // Proceeding of 2011'Sino-Russian Conference on Information Technology. – China: Shenyang university of chemical technology, 2011. – С. 61-62.

16. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Исследование каскадных САУ // Вестник ВГУЭС. Территория новых возможностей. Проблемы. Мнения. Дискуссии. События. №2. 2011. С. 81-95.

17. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Автоматизация оценки изучения ПС // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012) : сб. ст. II международной заочной научно-технической конференции. Ч. 3. Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти. Апрель 2012. С.191-198.

18. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Применение принципов нечеткой логики при оценке качества ПС // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25: сб. трудов XXV международной научной конференции.: в 10 т. Т. 6. Секция 6, 7 / под общ. ред. В.С. Балакирева. - СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов. 20-26 апреля 2012 г. С.115-120.

19. Сачко М.А. Сохранение экспертных знаний и их применение в образовании // Вестник ВГУЭС. Территория новых возможностей. Проблемы. Мнения. Дискуссии. События. Владивосток, №3. 2013. С.149-154.

20. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Эффективный метод расчёта расширенных амплитудно-фазовых характеристик с использованием биннома Ньютона. // Вестник ВГУЭС Территория новых возможностей. Проблемы. Мнения. Дискуссии. События. Владивосток, №4. 2013. С.271-280.

21. Сачко М.А., Кривошеев В.П. Интеллектуализация обучения параметрическому синтезу на базе экспертной обучающей системы // Вестник ВГУЭС. Территория новых возможностей. Проблемы. Мнения. Дискуссии. События. Владивосток, №5. 2013. С.69-75.

Сачко Максим Анатольевич

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМУ
СИНТЕЗУ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 25.09.14. Формат 60x84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1
Уч.-изд. л. 1,1 Тираж 20 экз. Заказ

Отпечатано во множительном участке ВГУЭС
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41