

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук, профессора Кобзева А.А. на диссертационную работу Карасева В. С. «Адаптивное цифровое управление теплоэнергетическими объектами на базе микроконтроллеров по оперативным значениям ошибки управления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»

### **1. Актуальность работы.**

Работа тепловых электрических станций (ТЭС) на большое число потребителей сопровождается генерацией возмущений на выходные характеристики ТЭС. При этом требуется сохранять энергетическую надежность, т.е. обеспечивать стабильные выходные параметры ТЭС при действии возмущений со стороны потребителей и колебаниях характеристик продуктов производства и рассеяния тепла носителя по пути его следования и преобразования. Настоящая работа посвящена повышению эксплуатационной надежности и долговечности ТЭС на основе повышения степени автоматизации процесса введением адаптивного управления в основной контур системы автоматического управления (САУ) с реализацией его на базе микроконтроллеров по оперативным значениям ошибки управления и в этой связи является актуальной.

### **2. Содержание работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и акта использования результатов работы. Она содержит 141 страницу основного текста, включающего 84 рисунка, 14 таблиц, перечень литературы из 82 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, степень ее разработанности. Сформулированы цели и определены решаемые в диссертации научные задачи повышения эффективности ТЭС путем повышения степени автоматизации процесса получения перегретого пара на

основе применения адаптивного управления. В основу алгоритмов адаптации настраиваемого пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора, парирующего внутренние и внешние возмущения объекта управления, положены зависимости спектральной плотности и корреляционной функции ошибки САУ. Показана научная новизна и практическая значимость. Сформулированы положения, выносимые на защиту, и обозначено содержание исследований по главам.

**Первая глава** посвящена анализу построения и настройки пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов и применению их в САУ объектами теплоэнергетики. Проведен обзор адаптивных систем в этой области. Определены два динамических показателя, положенные в дальнейшем для построения контуров адаптации - колебательность переходного процесса, выражаемая степенью затухания, и средняя частота процесса. Отмечена принципиальная особенность построения адаптивных САУ в рассматриваемых процессах – невозможность подачи пробных сигналов. Это требует введения новых оценок и показателей, позволяющих оценивать степень затухания и частоту процесса по ошибке. На основе анализа работ в этой области выявлены принципиальные закономерности, определяющие дальнейшие исследования: 1) изменения параметров передаточных функций их каналов, под влиянием общих режимных факторов, происходят синхронно; 2) коэффициенты усиления каналов  $k$  объекта изменяются (масштабируются по уровню) независимо друг от друга; 3) постоянные времени  $T$  и запаздывание  $\tau$  в передаточной функции канала объекта связаны единым масштабирующим множителем. Сформулированы задачи.

**Во второй главе** дан аналитический анализ влияния конструктивных и технологических параметров и компонентов комплекса на показатели качества и в конечном итоге на алгоритмы коррекции параметров регулятора. Выделены две группы процессов: 1) движение рабочего тела по трубопроводу; 2) теплообмен рабочего тела с окружающими элементами трубопроводов, емкостей и др. Получены зависимости постоянных времени по процессу нарастания давления  $T_p$  и теплообмена  $T_m$  в магистралях и емкостях, а также коэффициенты дифференциальных уравнений. Постоянные времени зависят от

многих конструктивных и технологических факторов и от режимов работы (нагрузки). Сделан вывод о том, что изменение теплофизических параметров процесса и зависящих от них характеристик проявляется синхронно во всех элементах объекта управления. На этом основании сформулировано положение о том, что распределённый объект сети трубопроводов и емкостей можно рассматривать с одинаковым транспортным запаздыванием и производением передаточных функций звеньев первого порядка. Причем, эффект аккумуляции  $T_0$  распределён по элементам цепи с учётом доли каждого  $j$ -го элемента, оцениваемой весовым параметром  $\beta_j$ , зависимым от конструктивных параметров участка (объёма, массы металла и массы находящегося в этом объёме теплоносителя).

Внешние и внутренние возмущения системы приводят к изменению эквивалентной постоянной времени и коэффициента передачи объекта (процесса получения перегретого пара). Контур адаптации стабилизирует запас устойчивости, который в работе предложено оценивать степенью затухания переходного процесса, и частоту колебаний. Рассматриваемые технологические процессы не допускают применение тестовых пробных сигналов. Поэтому предложены косвенные оценки контролируемых при настройке параметров в основе которых лежит ошибка контура управления и ее функции. Для оценки запаса устойчивости показана возможность использования автокорреляционной функции ошибки и ее второй производной. Частота колебаний процесса основана на анализе спектральной плотности ошибки. Выделение рабочего диапазона среднечастотной области используется с фильтрацией низко и высокочастотных составляющих с прямоугольным, треугольным сглаживающими окнами. Окончательно рекомендовано окно Тьюки.

Разработан алгоритм настройки параметров регулятора. Коэффициент усиления технологического регулятора настраивается в функции параметра, определяющего запас устойчивости на основе анализа автокорреляционной функции ошибки. Постоянная времени регулятора настраивается в функции частоты колебаний, оцениваемой по значению средней частоты спектральной плотности ошибки. Разработанный алгоритм охватывает все этапы преобразования сигнала ошибки с учетом особенностей вычислительных процессов.

**Третья глава** посвящена вопросам реализации предложенных алгоритмов настройки параметров технологического регулятора на базе современных программно-технических комплексов (ПТК). При этом проведена декомпозиция адаптивной САУ и выделены компоненты: технологический регулятор; параметрический регулятор; идентификатор; буфер, накапливающий данные для идентификатора; система диагностики. На основе вычислительного эксперимента был выбран ПТК «Текон». Рассмотрены три варианта размещения буфера и идентификатора: 1) на уровне рабочих станций; 2) на уровне станции серверов; 3) непосредственно в контроллере. Проведенный автором анализ выявил эффективность вариантов на уровне станции серверов. Определен язык программирования C++.

Для блокировки процесса адаптации и вычислительных процедур при выходе контролируемых и настраиваемых параметров за граничные значения предложено ввести блокировку работы. Причем блокировка вычислительных и логических процедур выполняется на уровне каждого контролируемого параметра (таблицы 3.7; 3.8).

Проверка работоспособности блока адаптивной подстройки была проведена на тренажере АСУ ТП пятого энергоблока Троицкой ГРЭС, мощностью 300 МВт. Имитировались восемь каналов управления: 6 питателей воды и 3 группы пылепитателей. Стабилизировались значения температуры четырех выходных параметров по 2 в нитке А и нитке Б. Приведены многочисленные графики процессов подстройки параметров и стабилизации коэффициента и постоянной времени регуляторов впрыска РВ-1, РВ-2. Эксперименты подтвердили как справедливость аналитических основ построения и работоспособность алгоритмов, так и их микропроцессорную реализацию. В результате применения контура адаптивного управления повышается экономическая эффективность за счет снижения потоков отказов и количества остановов, а также достигается лучшая экономичность, дополнительная выработка и повышается безопасность.

**Четвертая глава** посвящена разработке методики инициализации разработанной адаптивной системы. Выделены контура управления иерархической системы: основной блок управления, технологический регулятор, параметрический регулятор. Настройка их выполняется в этой последовательности с учетом их частотной селекции. Определяются параметры текущие параметры объекта и системы управления, значения требуемого запаса устойчивости, колебательности процесса и эквивалентные им значения параметров, участвующих в формировании алгоритма адаптации, а также вычислительные ресурсы, размеры массива исходных данных, объемы элементов памяти, вид и характеристик сглаживающих окон и пр. Разработана процедура инициализации адаптивной системы подстройки по выделенным контурам.

Предложенная методика носит экспериментально-исследовательский характер и является обязательной при настройке.

**В заключении** диссертации сформулированы основные результаты работы, показана научная и практическая значимость результатов исследований.

### **3. Научная новизна работы.**

В диссертационной работе Карасева В.С. получены следующие научные результаты:

1. Предложена структура адаптивной беспойсковой системы управления теплоэнергетическими объектами ТЭС, основанная на контроле и анализе функций текущей ошибки управления.

2. Определены способы оперативного определения косвенных показателей изменения динамических и статических свойств управляемого объекта в условиях дрейфа внутренних параметров и изменений режимов работы на основе спектральных методов анализа сигнала ошибки управления.

3. Разработаны алгоритмы настройки параметров регулятора основного тракта на основе спектральной плотности и автокорреляционной функции ошибки управления и алгоритмы их цифровой реализации.

4. Алгоритмы настройки дополнены блокирующими функциями, определяемыми путем диагностирования текущих значений динамических характеристик и эксплуатационных параметров объекта управления.

5. Разработана методика настройки адаптивной системы управления теплоэнергетическими объектами ТЭС, предусматривающая определение текущих и контрольных значений технологических параметров и САУ и последовательность процедур, ввод уставок, определения вычислительных ресурсов и пр.

#### **4. Практическая значимость работы** состоит в следующем.

1. В результате внедрения адаптивного контура повышается степень автоматизации процесса управления теплоэнергетическими объектами ТЭС и в конечном итоге повышается эксплуатационная надежность и долговечность ТЭС.

2. Дана реализация адаптивных алгоритмов управления беспойсковой САУ на основе функций контроля текущей ошибки на микропроцессорах и ПО ПТК «Текон».

3. Алгоритмы оперативной диагностики текущих параметров процесса технологического процесса, объекта управления и динамических характеристик САУ повышают работоспособность и надежность всего комплекса.

4. Предложенная методика настройки адаптивной САУ уменьшает время ввода в работу всего теплоэнергетического комплекса.

5. Практическая значимость принципов построения и адаптивной САУ и ее цифровая реализация подтверждается исследованиями на первом блоке Южной ТЭЦ-22 филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» г. Санкт-Петербург.

**5. Достоверность результатов**, полученных в диссертационной работе, обеспечивается корректным использованием теории автоматического управления, использованием аппарата дифференциальных уравнений и передаточных функций, моделированием, программной реализацией на микропроцессорах и ПО ПТК «Текон», а также экспериментальными

исследованиями на тренажере АСУ ТП пятого энергоблока Троицкой ГРЭС и первом блоке Южной ТЭЦ-22 филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» г. Санкт-Петербург.

#### **6. Замечания по работе.**

1. При обзоре и анализе адаптивных систем не отмечены работы ведущих Советских и Российских ученых Петрова Б.Н., Рутковского Ю.В., Чинаева П.И., Юсупова Р.М. и других.

2. Не приведены минимизируемые функции, или критерии качества. Как известно, именно при их минимизации формируются алгоритмы настройки варьируемых параметров.

3. В работе не дано строгое определение средней частоты спектральной плотности, которая используется как контрольный параметр при настройке параметров регулятора.

4. Имеются погрешности в оформлении и представлении материала. Например:

- в начале работы (С.5 - С.18) используется используется аббревиатура СС, АСР, ПТК, которая раскрывается позже;

- нарушен порядок нумерации рисунков в главе 3; пропущены номера рис. №№ 3.4; 3.5; 3.6 (С. 86 - С.92);

- в ряде графиков не даны переменные по горизонтальной и вертикальной осям, рис.3.10, 3.11 и др.;

- список литературы выполнен с отклонениями от общепринятого. Ряд источников не содержит выходных данных [42], [43]. Работы автора даны не по алфавиту, а в конце списка, поз.76-82.

#### **7. Выводы.**

• Тема и содержание диссертационной работы соответствует специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» и подпадает под области исследования: п.3. «Методология, научные основы...»; п.13: «Теоретические

основы и прикладные методы...»; п.14: «Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования, ...».

- Работа обладает научной новизной и имеет практическую значимость.
- Выводы по работе отражают результаты теоретических и экспериментальных исследований.
- Автореферат и опубликованные работы по теме диссертации отражают ее содержание.
- Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Работа представляет законченную научно-исследовательскую и научно-квалификационную работу и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)». Автор работы Карасев В.С. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Профессор кафедры «Автоматизация, мехатроника и робототехника»  
Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г.  
Столетовых доктор технических наук, профессор

13.03.2020

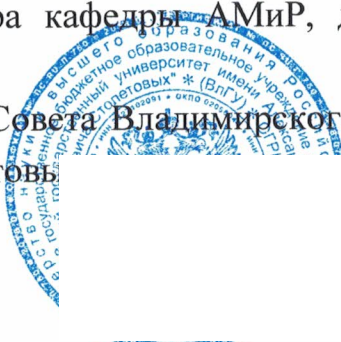
Кобзев Александр Архипович

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Тел.: раб 4922-47-98-63, e-mail: kobzev42@mail.ru

Подпись профессора кафедры АМиР, д.т.н., профессора Кобзева А.А. заверяю.

Ученый секретарь Совета Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых



Соннова Татьяна Григорьевна