

ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Зотов Вадим Алексеевич

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ СУШКИ УГОЛЬНОГО КОНЦЕНТРАТА
ПО ВЛАЖНОСТИ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА

Специальность 05.13.07 - "Автоматизация технологических
процессов и производств (промышленность)"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДОНЕЦК - 1994



00778876 (0)

Диссертационная работа является рукописью.

Работа выполнена на кафедре автоматизации горного производства и управляющих систем Донбасского горно-металлургического института.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор УЛЬЯНИН В.А.

Официальные оппоненты:

академик Украинской технологической академии, доктор технических наук, профессор БОРИСОВ А.А.

кандидат технических наук, доцент ЕВСТИГНЕЕВ И.Н.

Ведущая организация - Государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по автоматизации угольной промышленности (НИПИУглеавтоматизация, г.Луганск)

Защита диссертации состоится "27" октября 1994г. в 14:30 час на заседании специализированного совета К06.04.01 при Донецком государственном техническом университете: 340000, Донецк, ул.Артема, 58.

О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан "26" сентября 1994 г.

Ученый секретарь

специализированного совета,

ЛННБ ім.В.Стефаніка
АН України

МОКРЫЙ Г.В.

АВ-30.787

ИЗЛОЖЕНИЕ ОБЩЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ, АКТУАЛЬНОСТИ И СТЕПЕНИ ИССЛЕДОВАННОСТИ ТЕМАТИКИ ДИССЕРТАЦИИ

В условиях интенсивного ведения горных работ практически все добываемые на Украине каменные угли требуют обогащения. Эту задачу решают 64 углеобогатительные фабрики суммарной производственной мощностью 147 млн. т. угля в год, около 10 млн. т. перерабатывается на 23 обогатительных фабриках коксохимических заводов. Таким образом, переработке подвергается около 157 млн. т. угля в год. При этом флотации подвергается 13,4 % общего объема перерабатываемого угля. Флотационный концентрат является наиболее мелким, а значит и наиболее влагоемким классом углей, технология флотации требует непосредственного соприкосновения угля с жидкостью, поэтому для получения товарной продукции требуется сушка всего объема флотационного концентрата. Кроме того, сушке подвергаются и другие, более крупные классы углей. Эксплуатационные затраты на сушку составляют 18-20% общих затрат на углеобогащение.

Задача автоматического регулирования основных показателей данных процессов наталкивается на принципиальные трудности из-за наличия транспортного запаздывания, в несколько раз превышающего по величине постоянные времени объекта. Кроме того, на объекты оказывают существенное влияние возмущения случайного характера, большинство из которых контролировать в настоящее время не представляется возможным. В этих условиях применение стандартных законов регулирования оказывается неэффективным, а в большинстве случаев они непригодны.

Существующие системы автоматического управления основаны на стабилизации косвенных режимных параметров, поэтому не обеспечивают заданную влажность высушенного угля, что в зимних условиях приводит к его смерзанию в вагонах. Перерегулирование, возникающее при работе таких систем приводит к пересушке угля, что увеличивает вероятность взрыва и пожара. Кроме того, пересушка влечет за собой повышение взвеса угольной пыли в окружающую среду.

Попытка решить задачу стабилизации влажности привела к необходимости установки влагомера на входе сушилки. Однако из-за невозможности измерения влажности исходного угля непосредственно перед подачей в сушильный тракт, эта система не нашла применения. Кроме того, использование специальных алгоритмов управления предусматривает экспериментальную настройку регуляторов под конкретные параметры объекта. Однако такие объекты имеют переменные параметры, поэтому системы управления зачастую оказываются неработоспособными. Значительная инерционность процесса сушки приводит к длительным переходным процессам при запуске системы. В течение этого времени влажность конечного продукта не соответствует заданной, что приводит к потерям.

Таким образом, разработка методов адаптивного управления объектами с существенным запаздыванием позволяет решить актуальную задачу улучшения качества конечной продукции горного производства, повышения безопасности ведения работ и уменьшения загрязнения окружающей среды.

Многие объекты горного производства также имеют существенное запаздывание, если управление ведется по качеству конечных продуктов. Это например, флотация, обезвоживание в вакуумных фильтрах, сгущение шламовых вод, осветление от-

ходов флотации и т.п., поэтому разработка методов адаптивного управления имеет, важное значение для широкого класса объектов угольной промышленности.

Степень исследованности тематики диссертации заключается в следующем. Известные методы автоматического управления, основанные на компенсации транспортного запаздывания, не обеспечивают требуемой точности управления объектом с нестационарными параметрами при отсутствии информации о входных и возмущающих воздействиях, что ограничивает применение известных алгоритмов управления. Существующие регуляторы не позволяют оптимизировать режимы работы сушильных установок и обеспечить заданное время переходных процессов при условиях аperiodичности. Модели процесса сушки не учитывают взаимное влияние каналов управления топкой и сушилкой.

Исследования выполнены в соответствии с комплексной программой модернизации угольной промышленности "Уголь" и ее подпрограммой "Компьютеризация и автоматизация производственных процессов".

КОНКРЕТНАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЦЕЛИ

И ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является разработка моделей, алгоритмов и создание адаптивной системы автоматического управления процессом сушки угольного концентрата, обеспечивающей повышение точности стабилизации заданной влажности высушенного угля в переходном и установившемся режимах при заданном времени и условиях аperiodичности переходных процессов.

Задачи научных исследований: разработка и исследование обобщенной математической модели процесса сушки угольного концентрата в барабанных установках и трубах-сушилках; синтез адаптивного алгоритма автоматического управления

технологическим процессом сушки; разработка и исследование системы автоматического управления процессом сушки угольного концентрата; обобщение метода адаптивного управления на другие объекты углеобогащения с существенным запаздыванием.

Идея работы заключается в формировании управляющего динамического воздействия в системе путем масштабирования сигнала ошибки определенными функциями времени в зависимости от величины ошибки регулирования.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ

Впервые показано, что в системе с существенным запаздыванием управляющее воздействие, генерируемое в регуляторе параметрического типа в виде временной функции, масштабирующей ошибку регулирования, обеспечивает заданное время и аperiodичность переходного процесса на выходе объекта; масштабирующая функция повторяется через определенные интервалы времени и зависит от динамических характеристик объекта и заданных параметров переходного процесса.

Алгоритм вычисления масштабирующей функции для переходного режима работы системы представлен в виде рекуррентных соотношений, учитывающих фактические и заданные характеристики системы, отличающийся ориентацией на микропроцессорную реализацию, позволяющую применение системы.

Установлен и представлен структурной алгоритмической схемой характер взаимного влияния каналов управления процессами горения топлива и сушки, что обеспечивает комплексное управление топочным и сушильным агрегатами.

Показано, что для снижения времени запуска процесса сушки при условии аperiodичности переходного процесса изменения влажности высушенного угля, а также уменьшения средне-

квадратической ошибки регулирования в установившемся режиме необходимо использовать различные временные функции, масштабирующие ошибку регулирования влажности: в переходном режиме масштабирующая функция вычисляется по полученным рекуррентным зависимостям, в установившемся применяются прямоугольные импульсы единичной площади; переход на соответствующие временные функции определяется математическим ожиданием ошибки регулирования.

Практическая полезность работы заключается в разработке адаптивной автоматической системы управления процессами с существенным запаздыванием в каналах измерения и неконтролируемых случайных возмущениях, пригодной для автоматизации технологических процессов горного производства; в разработке инженерной методики расчета квазиоптимальных законов управления параметрами управляющего устройства при построении систем автоматического регулирования объектами с существенным запаздыванием с различными динамическими характеристиками; в разработке рекомендаций по построению адаптивных систем автоматического управления другими объектами углеобогащения с аналогичными свойствами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ РЕАЛИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК

Математическая модель процесса сушки угольного концентрата и адаптивный алгоритм управления влажностью высушенного угля использованы ЦОФ "Нагольчанская" ПО "Антрацитуглеобогащение" в техническом задании на создание системы автоматического контроля и управления влажностью высушенного угля в технологическом потоке; в проекте автоматизации сушильного отделения; в системе автоматического контроля и управления влажностью высушенного угля; в пакете прикладных программ

управляющей части системы автоматического контроля и управления влажностью.

Научные положения диссертации, в том числе математическая модель процесса сушки угольного концентрата, метод и алгоритм адаптивного управления процессом используются Государственным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом по автоматизации угольной промышленности НИПИУглеавтоматизация при разработке комплекса аппаратуры автоматизации сушильных отделений углеобогачительных фабрик.

Методика исследований на ЭВМ систем автоматического управления со стохастическими возмущающими воздействиями используется в курсе "Теория автоматического управления", дипломном проектировании и УИРС в Донбасском горно-металлургическом институте.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АПРОБАЦИИ И ПУБЛИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СТРУКТУРЕ И ОБЪЕМЕ
ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Результаты исследований доложены, обсуждены и получили одобрение на кафедре автоматизации горного производства и управляющих систем Донбасского горно-металлургического института (1992-1994гг.); на научных конференциях Донбасского горно-металлургического института (1993-1994гг.); на научном семинаре АН Украины "Проблемы управления вентиляционными преобразователями в электроприводах и АСУТП" (г.Донецк, 1993г.); на расширенном заседании кафедры "Автоматика и тепломеханика" Донецкого государственного технического университета (1994г.), в институте "НИПИУглеавтоматизация" (г.Луганск, 1994г.), на ЦОФ "Нагольчанская" ПО "Антрацитуглеобогащение".

По теме диссертации опубликовано 8 работ, подготовлена и отправлена заявка на патент Украины №94030696.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения, "эложенных на 140 страницах машинописного текста, иллюстрированного 45 рисунками. Работа содержит 10 таблиц, список литературы из 104 наименований и 5 приложений.

ДЕКЛАРАЦИЯ КОНКРЕТНОГО ЛИЧНОГО ВКЛАДА ДИССЕРТАНТА

В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ,

КОТОРЫЕ ВНОСЯТСЯ НА ЗАЩИТУ

Разработаны методы синтеза алгоритмов автоматического управления различными объектами с существенным запаздыванием с применением регулятора параметрического типа с управляемым коэффициентом усиления; разработан и исследован с использованием вычислительной техники адаптивный алгоритм управления влажностью угольного концентрата; разработана математическая модель процесса сушки; произведены экспериментальные исследования сушильных установок на ЦОФ "Криворожская" и ЦОФ "Нагольчанская"; разработана адаптивная система автоматического управления процессом сушки угольного концентрата.

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГИИ,

МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДМЕТА И ОБЪЕКТА

Решение поставленных в работе задач выполнено на основе теоретических и экспериментальных исследований с использованием математического аппарата дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом, теории автоматического управления объектами с переменными параметрами, операционного исчисления, методов математической статистики, численных методов и вычислительных экспериментов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается адекватностью разработанной модели, проверен-

ной с помощью критерия Пирсона, обоснованность принятых допущений, результатами расчетов различными методами; корректность использования математического аппарата и численных методов.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ
И ФОРМУЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ВЫВОДОВ, ВЫТЕКАЮЩИХ
ИЗ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

Сушильная установка состоит из трех взаимно связанных основных частей: источника получения сушильного агента (топки), сушилки и тягодутьевого оборудования.

Автоматическое управление процессом сушки осуществляется в основном по косвенным параметрам, коррелированным с влажностью высушенного угля, (температура, влагосодержание, запыленность газов и т.п.). Такое управление не обеспечивает стабилизацию влажности конечного продукта на заданном уровне из-за существенного влияния возмущающих воздействий (влажность исходного угля, производительность по сырому углю на входе и др.).

Институтом Гипроуглеавтоматизация (ГУА) разработана аппаратура автоматизации сушильных установок КАСУ.1, стабилизирующая влажность высушенного угля по наблюдениям. Для этого предусмотрено измерение влажности исходного угля и производительности по входу установки. Но измерение указанных параметров технически возможно лишь перед аккумулялирующим бункером, а не перед сушилкой непосредственно, поэтому такое решение ведет к увеличению погрешности стабилизации влажности. Кроме того, имеет место значительная длительность переходных процессов при пуске сушильной установки, что приводит к снижению качества конечного продукта. Применение конвейерных весов и влагомера на входе снижает надежность

работы установки.

Повышение точности стабилизации достигается при управлении по влажности высушенного угля. Но установка влагомера на выходе процесса приводит к существенному запаздыванию сигналов в канале измерения влажности. В большинстве случаев для сушильных установок $\tau_o/T_o \approx 3$ (τ_o, T_o - соответственно время чистого запаздывания и постоянная времени объекта управления). Однако процесс сушки имеет нестационарные параметры и подвержен воздействию неконтролируемых стохастических возмущений с неизвестными вероятностными характеристиками, поэтому традиционные алгоритмы управления оказываются непригодными.

Таким образом, необходимо использовать адаптивные алгоритмы управления по влажности конечного продукта, позволяющие оптимизировать переходный и установившийся режимы при нестационарных параметрах объекта и неконтролируемых стохастических возмущениях. Требуют уточнения и динамические свойства сушильных установок как объектов управления, так как существующие модели не учитывают характер взаимного влияния каналов управления топкой и сушилкой.

Для достижения поставленной цели разработана обобщенная математическая модель процесса сушки, для наиболее распространенных установок - барабанных и труб-сушилок. (рис. 1). Модель учитывает характер взаимного влияния различных каналов управления сушильной установкой, в том числе каналов управления топкой и сушилкой. В качестве выходной координаты процесса принята влажность высушенного угля S_2 , а промежуточными переменными - температура газов T_1 и разрежение в топочном устройстве $P_{\text{в.к.}}$, давление дутья P_d и скорость сушильного агента v . Управляющими воздействиями соответст-

визно приняты: нагрузка по исходному углю Q_A , расход топлива Q_T , степень открытия направляющего аппарата дымохода α и дутьевого вентилятора α_A .

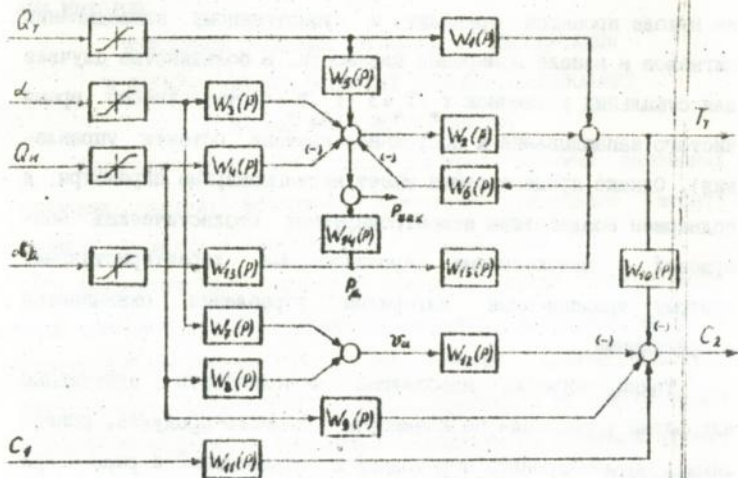


Рис. 1.

Параметрическая идентификация статической модели процесса сушки выполнена экспериментально для барабанной сушильной установки, эксплуатирующейся в условиях ЦОФ "Криворожская" и трубы-сушилки ЦОФ "Нагольчанская". Адекватность модели реальным объектам в статическом режиме проверялась путем сравнения экспериментальных данных с результатами моделирования при соответствующих значениях входных воздействий. При этом расхождение экспериментальных значений влажности высушенного угля от полученных на модели не превышает 13 % для барабанной установки и 9 % для трубы-сушилки.

Полученные значения коэффициентов усиления использованы для определения чувствительности каналов управления сушиль-

ной установкой к изменению управляющих воздействий. В результате исследований установлено, что регулирование влажности высушенного угля, температуры в топке, расхода сушильного агента и первичного воздуха целесообразно выполнять путем изменения в допустимых пределах соответственно величин нагрузки по исходному углю, расхода топлива, степени открытия направляющего аппарата дымососа и дутьевого вентилятора. В случае недостаточного диапазона изменения нагрузки по исходному углю влажность регулируется коррекцией температуры в топке, что способствует повышению долговечности и КПД топки, поскольку оперативное регулирование влажности не требует изменения температурного режима.

Основной канал управления барабанной сушильной установки "нагрузка по исходному углю - влажность высушенного угля" аппроксимируется передаточной функцией вида

$$W_0(p) = K_0 e^{-\tau_0 p} / (T_0 p + 1),$$

где $T_0 = 168$ с; $\tau_0 = 960$ с - соответственно постоянная времени и время чистого запаздывания; p - оператор Лапласа.

Управление влажностью высушенного угля по основному каналу предложено осуществлять регулятором параметрического типа с управляемым коэффициентом усиления. Управляющее воздействие на объект формируется путем изменения соответствующим образом коэффициента усиления регулятора. Повышение точности достигается за счет использования в переходном и установившемся режимах работы системы различных временных функций, масштабирующих ошибку регулирования влажности (законов изменения коэффициента усиления регулятора). Момент переключения определяет средняя ошибка регулирования влажности $m(\epsilon_c)$. Для запоминания управляющего воздействия и

устранения статической ошибки регулирования в регуляторе предусмотрен интегратор. Если объект содержит интегрирующее звено, регулятор представляет собой управляемый усилитель. В переходном режиме, когда $|m(\varepsilon_c)| > \varepsilon^*$ (ε^* -заданный порог переключения), закон изменения коэффициента усиления усилителя в n -й момент времени определяется по рекуррентной формуле

$$\gamma_n = \frac{K_x}{K_o T_x h} \left[\frac{T_o}{h} \left(A_n - 2A_{n-1} + A_{n-2} \right) + A_n - A_{n-1} \right],$$

$$\text{где } A_n = [(2T_x - h) A_{n-1} + T_x h (X_n + X_{n-1})] / (2T_x + h); \quad (2)$$

K_o , T_o - соответственно коэффициент усиления и постоянная времени объекта по рассматриваемому каналу; K_x , T_x - соответственно желаемый коэффициент усиления и желаемая постоянная времени объекта; n - шаг квантования по времени; ($h < 0.05T_o$); X - единичная ступенчатая функция, повторяющаяся с периодом $t_p = \tau_p + 4T_x$.

Периодически, через промежутки времени t_p величина переменной A приравнивается нулю и расчет коэффициента усиления по формулам (1) и (2) повторяется. В режиме, когда $|m(\varepsilon_c)| \leq \varepsilon^*$, управление усилителем осуществляется прямоугольными импульсами площадью $1/K_o$ с периодом повторения $t_n = \tau_p + 4T_x$. Величины t_p и t_n получены теоретически из условия максимального быстродействия системы и проверены моделированием на ЭВМ. Разработанным методом синтеза получены рекуррентные формулы квазиоптимальных законов изменения коэффициента усиления регулятора для переходного режима в случае использования в системе объектов с различными динамическими свойствами (табл.1). При этом, независимо от модели объекта, при обработке системой задающего или возмущающего воздействия в виде ступенчатой функции, на выходе формируется

апериодический переходный процесс с заданными параметрами, сдвинутый во времени на величину чистого запаздывания.

ТАБЛИЦА 1

Законы изменения коэффициента усиления регулятора

№ П/П	Передаточная функция объекта, $W_o(p)$	Коэффициент усиления
1	$\frac{e^{-\tau_o p}}{T_o p}$	$\frac{K_z \psi_o}{T_z h} (A_n - A_{n-1})$
2	$\frac{K_o e^{-\tau_o p}}{p(T_o p + 1)}$	$\frac{K_z}{K_o T_z h} \left[\frac{T_o}{h} (A_n - 2A_{n-1} + A_{n-2}) + A_n - A_{n-1} \right]$
3	$\frac{K_o e^{-\tau_o p}}{T_o^2 p^2 + 2\xi T_o p + 1}$	$\frac{K_z}{K_o T_z} \left[\frac{T_o^2}{h^2} (A_n - 2A_{n-1} + A_{n-2}) + \frac{2\xi T_o}{h} (A_n - A_{n-1}) + A_n \right]$
4	$\frac{K_o e^{-\tau_o p}}{p(T_o^2 p^2 + 2\xi T_o p + 1)}$	$\frac{K_z}{K_o T_z h} \left[\frac{T_o^2}{h^2} (A_n + 3(A_{n-2} - A_{n-1}) - A_{n-3}) + \frac{2\xi T_o}{h} (A_n - 2A_{n-1} + A_{n-2}) + A_n - A_{n-1} \right]$

При использовании данного регулятора в системах с объектами, не обладающими интегрирующими свойствами, при отсутствии управляющего воздействия на входе необходимо сохранять соответствующий постоянный сигнал при помощи дополнительного устройства памяти до наступления следующего периода управления.

Справедливость аналитически полученных рекуррентных зависимостей проверена путем сравнения с результатами синтеза управления регулятором на ЭВМ модифицированным методом

прямого поиска, сущность которого изложена в диссертации.

Алгоритм автоматического управления температурой сушильного агента и тягодутьевым режимом построен на основе нелинейного ПИ-закона и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Q_T &= K_{\text{РТ1}} \epsilon_T + K_{\text{РТ2}} \epsilon_T^3 + K_{\text{РТ3}} \int^t \epsilon_T dt; \\
 \epsilon_T &= T_T^* - T_T - S_{\text{к.Т}}; \\
 S_{\text{к.Т}} &= \int_0^t m(\epsilon_c) \gamma_2(t) dt; \\
 t_0 &= n h; \\
 \gamma_{2,n} &= \begin{cases} \frac{T_{\text{с.Т}} (A_n - 2A_{n-1} + A_{n-2}) / h + A_n - A_{n-1}}{K_{\text{Т0}} h}, & \text{при } m(\epsilon_c) < m(\epsilon_c)_{\text{min}} \\ & \text{или } m(\epsilon_c) > m(\epsilon_c)_{\text{max}} \\ 0, & \text{при } m(\epsilon_c)_{\text{min}} \leq m(\epsilon_c) \leq m(\epsilon_c)_{\text{max}}; \end{cases} \\
 A_n &= \begin{cases} \frac{(2T_{\text{с.Т}} - h) A_{n-1} + T_{\text{с.Т}} h (X_n + X_{n-1})}{2T_{\text{с.Т}} + h}, & \text{при } n \neq 0; \\ 0, & \text{при } n = 0; \end{cases} \\
 m(\epsilon_c)_{\text{min}} &= (Q_{\text{н. min}} - Q_{\text{н}}) K_{\text{г}}; \\
 m(\epsilon_c)_{\text{max}} &= (Q_{\text{н. max}} - Q_{\text{н}}) K_{\text{г}}; \\
 X_n &= \begin{cases} 1, & \text{при } n \neq 0; \\ 0, & \text{при } n = 0; \end{cases} \\
 n &= 0, \text{ при } t_0 \geq T_{\text{г}}; \\
 (X_{n-1} = A_{n-1} = A_{n-2} = t_0)_{n=0} &= 0; \\
 \alpha &= K_{\text{РП1}} \epsilon_P + K_{\text{РП2}} \epsilon_P^3 + K_{\text{РП3}} \int_0^t \epsilon_P dt; \\
 \epsilon_P &= P_{\text{зак}}^* - P_{\text{зак}}; \\
 \alpha_A &= Q_T K_{\text{РА1}} - \alpha K_{\text{РА2}},
 \end{aligned} \tag{3}$$

где $K_{\text{РТ1}}, K_{\text{РТ2}}, K_{\text{РТ3}}, K_{\text{РП1}}, K_{\text{РП2}}, K_{\text{РА1}}, K_{\text{РА2}}$ - коэффициенты усиления регуляторов управления температурным и тягодутьевым режимами; $T_T^*, P_{\text{зак}}^*$ - заданные значения соответственно температуры и разрежения в точке; ϵ_T, ϵ_P - соответственно ошибка

регулирования температуры и разрежения в топке; $S_{н.т}$ - сигнал коррекции температуры в топке; $Q_{н.мин}$, $Q_{н.мак}$ - соответственно минимальное и максимальное значения нагрузки по исходному углю; $m(\epsilon_0)_{мин}$, $m(\epsilon_0)_{мак}$ - соответственно минимальная и максимальная ошибка регулирования влажности; $T_{о.т}$ - постоянная времени канала управления "задание температуры в топке - температура в топке"; T_p - период повторения управляющего воздействия на дополнительный управляемый усилитель; t_0 - время начала текущего периода управления; n - номер интервала квантования по времени.

Приведенный алгоритм отличается от разработанного ГУА использованием указанных выше каналов управления и наличием цепи коррекции температурного режима путем изменения задания температуры в топке с помощью дополнительного управляемого усилителя $\gamma_n(t)$. Цепь коррекции температуры включается в работу при недостаточном диапазоне изменения нагрузки по исходному углю, когда $m(\epsilon_0) < m(\epsilon_0)_{мин}$ или $m(\epsilon_0) > m(\epsilon_0)_{мак}$. Величины $m(\epsilon_0)_{мин}$ и $m(\epsilon_0)_{мак}$ непременно определяются системой в зависимости от текущего значения нагрузки:

$$m(\epsilon_0)_{мин} = (Q_{н.мин} - Q_n)K_g; \quad m(\epsilon_0)_{мак} = (Q_{н.мак} - Q_n)K_g.$$

Реализация (1) - (3) выполнена с использованием микропроцессорной техники. Структурная схема адаптивной системы управления процессом сушки угольного концентрата приведена на рис.2.

Исследования системы проведены с помощью численного эксперимента на ЭЕМ на примере барабанной сушильной установки ЦОФ "Криворожская". Эксперименты проводились с учетом реальных случайных возмущений. На рис.3 приведен пример осциллограммы работы системы.

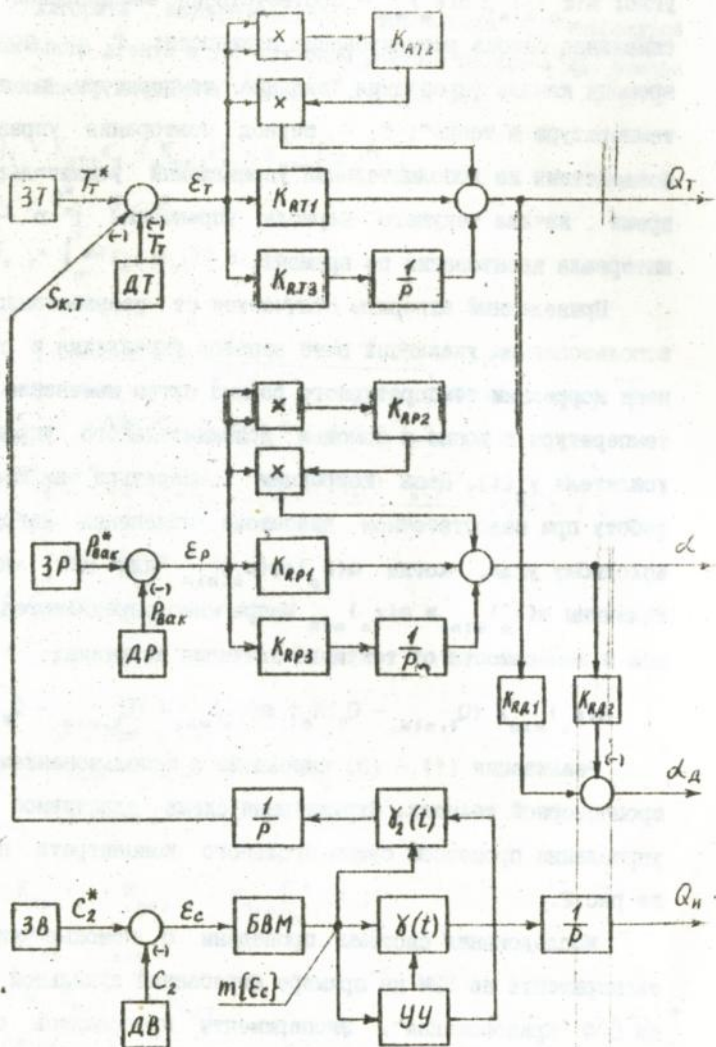


Рис. 2. Структурная схема адаптивной системы автоматического управления процессом сушки угольного концентрата

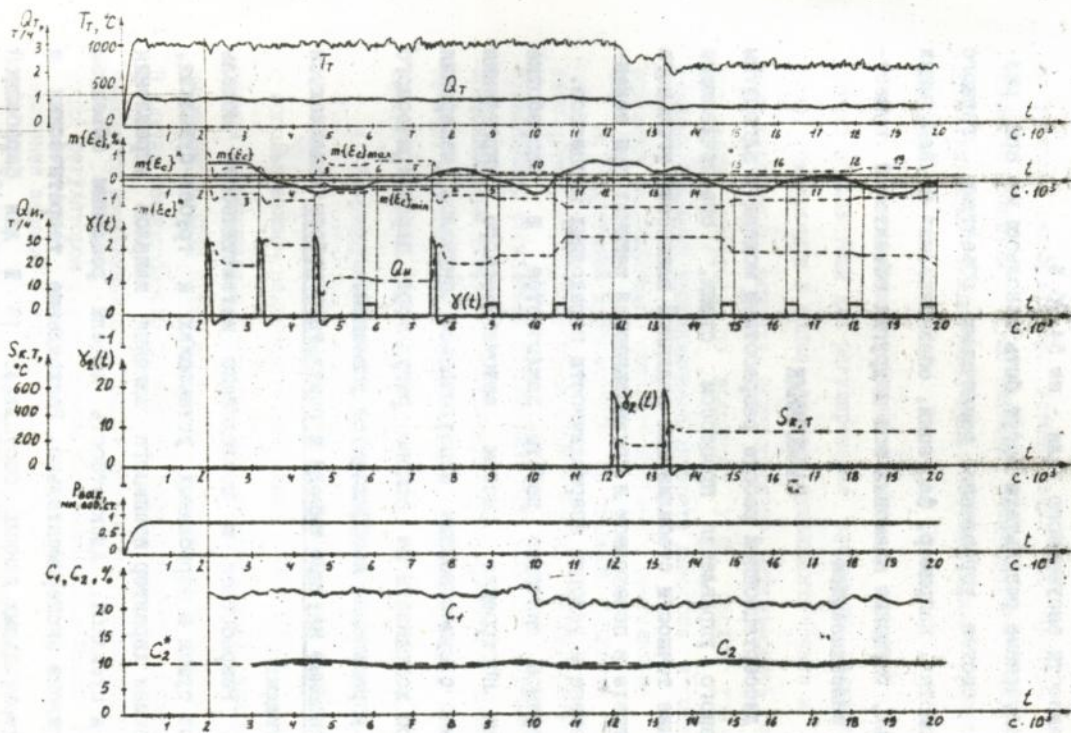


Рис. 3. Переходные процессы в стохастической системе

В результате исследований установлено, что предложенный алгоритм управления обеспечивает снижение времени переходных процессов при запуске сушильной установки по сравнению с аппаратурой КАСУ.1 на 46.7 %, среднеквадратического отклонения влажности высушенного угля - на 54.96 %.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем управления различными объектами горного производства, например, флотации, обезвоживания в вакуумных фильтрах, сгущения шламовых вод и других объектов с существенным запаздыванием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработаны модели и алгоритмы адаптивного управления процессом сушки, обеспечивающие повышение точности стабилизации заданной влажности угольного концентрата в переходном и установившемся режимах при заданном времени и условия аperiodичности переходных процессов.

Научное значение работы заключается в разработке методики построения систем автоматического управления объектами с существенным запаздыванием сигналов измерения выходной координаты на основе регулятора параметрического типа с управляемым коэффициентом усиления.

Основные научные выводы и результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана и исследована математическая модель процесса сушки в барабанных установках и трубах-сушилках, учитывающая характер взаимного влияния каналов управления топкой и сушилкой. Адекватность модели реальным объектам подтверждена экспериментально. Расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет 13 % для барабанной сушильной установки и 9 % для трубы-сушилки. Параметры моде-

ли могут отличаться для различных типов сушильных установок и условий эксплуатации. Установлено, что процесс сушки является объектом с существенным запаздыванием. Показано, что возмущающие воздействия носят нестационарный вероятностный характер.

2. Исследованиями установлено, что в качестве управляющих воздействий для регулирования влажности высушенного угля, температуры в топке, расхода сушильного агента и расхода первичного воздуха целесообразно использовать соответственно нагрузку по исходному углю, расход топлива, степень открытия направляющего аппарата дымососа и степень открытия направляющего аппарата дутьевого вентилятора.

3. Разработан и исследован адаптивный алгоритм автоматического управления влажностью угольного концентрата с применением регулятора параметрического типа с управляемым коэффициентом усиления, обеспечивающего повышение точности за счет различных временных функций, масштабирующих сигнал ошибки в зависимости от величины ошибки регулирования.

4. Разработана и исследована адаптивная система автоматического управления процессом сушки угольного концентрата с использованием нелинейного адаптивного регулятора с управляемым коэффициентом усиления для регулирования влажности высушенного угля путем изменения нагрузки по исходному углю. В случае неспособности регулятора компенсировать отклонение влажности изменением нагрузки, корректируется температура в топке регулятором с управляемым коэффициентом усиления путем изменения задания температуры.

5. Численными экспериментами показано, что время обучения системы при запуске по сравнению с другими алгоритмами

сокращается на 46,7 % и среднеквадратическое отклонение влажности искомого угля снижается на 54,96 %.

6. Источниками экономической эффективности эксплуатации системы являются: уменьшение выхода некачественной продукции во время запуска сушильной установки, повышение качества конечного продукта, сокращение расхода топлива и повышение КПД топки, повышение уровня безопасности при эксплуатации сушильной установки, уменьшение загрязнения окружающей среды. Ожидаемый экономический эффект от повышения быстродействия барабанной сушильной установки составляет 436,4 млн. грн. в год. (по состоянию на 9 февраля 1994г.).

7. Результаты работы использованы при разработке систем автоматического управления процессом сушки на ЦОФ "Нагольчанская" ПО "Антрацит: левобогаченне", Государственным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом по автоматизации угольной промышленности НИИМУгловтоматизация, Донбасским горно-металлургическим институтом.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Зотов В.А. Процесс сушки угольного концентрата как объект автоматического управления / Донбас. горно-металлург. ин-т.- Алчевск, 1993.- 16с.:ил.- Деп. в ГИТБ Украины 15.05.94, № 983-Ук94.

2. Зотов В.А., Ульшин В.А. Анализ на ЭВМ процессов в системах автоматического управления / Донбас. горно-металлург. ин-т.- Алчевск, 1993.- 12с.:ил.- Деп. в ГИТБ Украины 31.05.93, № 1079-Ук93.

3. Зотов В.А., Ульшин В.А. Операторный метод определения реакций систем автоматического управления объектами горного производства с существенным запаздыванием / Донбас.

горно-металлург. ин-т.- Алчевск, 1992.- 12с.:ил.- Деп. в УкрИМТЭИ 03.11.92, № 1792-Ук92.

4. Зотов В.А., Ульшин В.А. Квазиоптимальное управление объектами с существенным запаздыванием регуляторами с управляемым коэффициентом усиления / Донбас. горно-металлург. ин-т.- Алчевск, 1993.- 10с.- Деп. в ГИТБ Украины 31.05.93, № 1080-Ук93.

5. Ульшин В.А., Зотов В.А. Модифицированный метод прямого поиска управляющего воздействия для систем автоматического управления / Донбас. горно-металлург. ин-т.- Алчевск, 1993.- 7с.:ил.- Деп. в ГИТБ Украины 31.05.93, № 1081-Ук93.

6. Ульшин В.А., Зотов В.А. Генерирование случайных сигналов для исследования систем автоматического управления / Донбас. горно-металлург. ин-т.- Алчевск, 1993.- 20с.:ил.- Деп. в ГИТБ Украины 31.05.93, № 1082-Ук93.

7. Система автоматического управления сушильной установкой / В.А.Зотов, Н.Н.Шиков, В.А.Ульшин, А.И.Ровенко, Л.И.Рябенко: Информацион. листок № 58-94 / Луганский центр науч.-техн. и экономическ. информац. - Луганск, 1994.

8. Метод повышения точности автоматического управления процессом сушки угольного концентрата / В.А.Зотов, В.А.Ульшин: Информацион. листок № 57-94 / Луганский центр науч.-техн. и экономическ. информац. - Луганск, 1994.

А Н Н О Т А Ц И Я

Зотов В.А. Адаптивная система автоматического управления процессом сушки угольного концентрата по влажности конечного продукта.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07. - Автоматизация технологических процессов и производств (промышленность), Донецкий государственный технический университет, Донецк, 1994.

Получена математическая модель сушильной установки с учетом взаимного влияния каналов управления топкой и сушилкой. Предложен регулятор параметрического типа, масштабирующий ошибку регулирования. Получены рекуррентные соотношения масштабирующих функций. Разработана адаптивная система управления сушильной установкой.

A N N O T A T I O N

Zotov V.A. Adaptive system of coal concentrate drying automatic control by final product humidity.

Dissertation to search scholar degree Candidate of technical sciences on speciality 05.13.07. - Automation of technologic processes and productions (industry), Donetsk State Technical University, Donetsk, 1994.

Mathematic model of drying installation taking account of reciprocal influence of canals to control drying and heating was obtained. Parameter regulator, scaling the mistake of regulation was proposed. Recurrent relations of scaling functions were obtained. Adaptive system of drying installation control was elaborated.

Ключові слова: сушильний прилад, вугільний концентрат, вогкість, істотне запізнювання, керуєний підсилювач, система керування, апаратура керування.