

14 ДЕК 1998

На правах рукописи

ЩЕГОЛЕВАТЫХ Александр Сергеевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННО-
ЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ЗЕРНА**

Специальность 05.13.07 - Автоматизация технологических процессов
и производств (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Воронеж - 1998

Работа выполнена в Воронежском государственном техническом университете

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор Подвальный С.Л.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Лозгачёв Г.И.

кандидат технических наук,
доцент Попов Б.В.

Ведущая организация

НПО "Агроприбор", Москва

Защита диссертации состоится "18" декабря 1998 г. в 14 часов конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 063.81.02 пр Воронежском государственном техническом университете по адресу 394026 Воронеж, Московский просп., 14.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного технического университета.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1998 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета



Львович Я.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Обеспечение продовольствием является для человечества древнейшей и самой насущной проблемой. Сохранность выращенного зерна обеспечивается главным образом путём сушки. Этот технологический процесс обеспечивает защиту от гниения, размножения вредителей, самовозгорания выращенного зерна. Процесс сушки-достаточно сложный и энергоёмкий. Высушенный продукт не должен потерять своих вкусовых и биологических качеств (всхожести, энергии прорастания и др.). Существенно возросшие в новых экономических условиях требования к повышению качества сельхозпродуктов и снижению удельных энергозатрат невозможно удовлетворить без внедрения современной технологической и информационно-измерительной базы, которую представляют автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП).

Однако сложность математического моделирования процесса сушки зерна, его недостаточная изученность, влияние большого числа возмущающих факторов, а также недостаточное обеспечение измерительно-информационной аппаратурой сдерживает развитие АСУТП сушки зерна.

Данная работа выполнена в соответствии с Координационным планом научно-технических работ Академии наук СССР на 1986-90 гг. по проблеме: "Разработка и внедрение в эксплуатацию автоматизированной системы управления технологическим процессом элеватора комбикормового на базе микропроцессорной техники - АСУТП "Элеватор комбикормовый"; по проблеме: "Обнаружение и подавление очагов самосогревания и горения", а также в рамках отраслевых планов Министерства хлебопродуктов Российской Федерации на 1991-1995 гг.

В связи с этим тема диссертационной работы представляется весьма актуальной с научной и практической точек зрения.

Целью работы является разработка математического описания и алгоритмического обеспечения автоматизированной системы управления сушкой зерна на базе электронных импульсных датчиков для повышения технико-экономических показателей зерносушилок.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

1. Анализ существующих систем автоматизации, датчиков для измерения технологических параметров сушки зерна и алгоритмов автоматизированного управления;
2. Исследование и разработку моделей динамики отдельных стадий технологического процесса сушки зерна с учётом физико-химических закономерностей кинетики, гидродинамики, тепло- и массообмена, пригодных для целей управления с помощью ЭВМ;

3. Создание измерительно-информационного обеспечения АСУТП на основе новых электронных приборов, разработку моделей и методов расчета импульсных датчиков технологических параметров сушки зерна;

4. Разработку алгоритмов управления на базе адаптивной математической модели, учёт особенностей модального управления, исследование сходимости алгоритмов управления сушкой зерна;

5. Экспериментальное исследование моделей, алгоритмов, импульсных датчиков и преобразователей; определение точности и устойчивости функционирования и внедрение АСУТП сушки зерна на действующих предприятиях.

Методы исследования. Теоретические исследования, проведенные в диссертационной работе, основаны на использовании теории моделирования и управления, теории информационно-управляющих систем, математического аппарата численных методов оценивания и оптимизации, теории устойчивости и подобия, функционального и матричного анализа.

Экспериментальные исследования проводились на основе существующих общероссийских и отраслевых стандартов на методы тестирования и обработку результатов измерений.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Обоснованы и разработаны динамические модели отдельных стадий технологического процесса сушки зерна в зерносушилке, основанные на анализе и учёте физико-химических закономерностей и осуществления их идентификация по данным экспериментальных исследований;

2. Разработана структурная схема и адаптивный алгоритм модального управления зерносушилкой, отличающийся использованием редуцированной модели, параметры которой периодически подстраиваются по данным информационной системы;

3. Обоснованы критерии оценки точности датчиков технологических параметров сушки на негatronах типа S. Разработаны методики расчёта их характеристик преобразования, новизна схемотехнических решений защищена патентами и авторскими свидетельствами на изобретения;

4. На базе теоретических исследований создана новая аппаратура получения и обмена информации, обеспечивающая заданные точность и устойчивость работы АСУТП сушки зерна.

Практическая ценность. Проведенные исследования позволили уточнить известные и предложить модифицированные модели технологического процесса сушки и измерительно-информационной подсистемы АСУТП, на основе которых разработан алгоритм управления зерносушилкой.

Разработаны опытные образцы и испытаны в производственных условиях новые импульсные датчики технологических параметров на основе негatronов типа S. Частотный спектр генерируемого сигнала импульсными датчиками простирается от сверхвысоких радиочастот до

сверхвысокочастотного диапазона. Нестабильность частоты от изменения совокупных возмущающих факторов не более 0,5 %, температурный диапазон работы импульсных датчиков: -60 ... +125 °С.

Аналитические и экспериментальные исследования АСУТП сушки зерна обобщены в отчетах по НИР, выполненных автором.

Реализация результатов работы. Разработанные математические модели, методы и алгоритмы адаптивного управления технологическим процессом сушки зерна прошли экспериментальную проверку и переданы в эксплуатацию в составе АСУТП "Элеватор комбикормовый" на Раменском комбинате хлебопродуктов Московской области. Годовой экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составляет 51,5 тыс. р. (в ценах 1998 г.).

Импульсные датчики, созданные на основе изобретений и при непосредственном участии автора, внедрены: на Раменском комбинате хлебопродуктов Московской обл., в Донецком объединенном авиаотряде в системе контроля устройств автоматики самолета Як-42, на Рижском ордена Ленина производственном объединении ВЭФ в системе медицинской диагностики (ауракупунктуры), и на ряде других предприятиях.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

Республиканской электронной научной конференции "Современные проблемы информатизации" (Воронеж, 1996);

городской научно-практической конференции "Математика - народному хозяйству" (Воронеж, 1986);

второй Всесоюзной конференции "Прием и анализ СНЧ колебаний естественного происхождения" (Воронеж, 1987);

втором Всесоюзном НТС "Оптимизация технических систем" (Винница, 1986);

Всесоюзном НТС "Оптимизация технических систем" (Новосибирск, 1976);

XXI научной конференции ВТИ (Воронеж, 1982);

ежегодных научно-технических конференциях ВГГУ в 1986-1998 гг.

Публикации. Всего опубликовано 25 печатных работ, из них по теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 8 авторских свидетельств и патентов.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с выводами, заключения, приложения и списка литературы из 118 наименований. Основная часть диссертационной работы изложена на 130 страницах машинописного текста, включает 4 таблицы и 28 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, дана её краткая характеристика, сформулированы цель и основные задачи исследования, представлены основные научные результаты, описана структура основного текста диссертации.

В первой главе дана характеристика процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках, проведен анализ объекта управления, определено состояние математического моделирования технологического процесса сушки зерна и автоматизированного управления процессом сушки на настоящий момент.

Анализ процесса сушки зерна показал, что это достаточно сложное физико-химическое явление, имеющее двойственную детерминированно-стохастическую природу, характеризующееся нестационарностью переменных состояния технологического процесса, сложностью контроля большого числа как параметров технологического процесса, так и качественных характеристик продукта сушки.

Зерно, являясь биологическим объектом, задаёт ряд ограничений на параметры технологического процесса. Вызываются они, в первую очередь, температурной лабильностью белкового комплекса зерна. Следует учесть разброс характеристик зерновой массы, поступающей на сушку: влагосодержание, содержание клейковины, засоренность и т. п. В результате чего изменяется допустимая температура нагрева, время отлежки и другие ограничения на технологические параметры процесса сушки.

Определена алгоритмическая структура управления процессом сушки зерна, которая включает математические модели технологического процесса сушки зерна и измерительной информационной системы, а также учитывает динамику работы исполнительных механизмов (транспортные средства, силовое оборудование, электроуправляемые заслонки, задвижки, клапаны и др.).

Техническая структура АСУТП содержит: ЭВМ с устройствами связи (интерфейсом), устройства ввода-вывода, индикации состояния технологического оборудования и контроля (мнемопульт, видеомонитор и др.), средства для сопряжения оператора-технолога с ЭВМ (монитор, звуковая и световая сигнализация и др.), аппаратуру передачи данных по каналам связи. В АСУТП сушки зерна выделены входные, выходные параметры, а также возмущающие и управляющие воздействия (рис.1!).

Основными входными параметрами АСУТП сушки зерна являются следующие: влагосодержание зерна u , его температура θ_0 , скорость движения v , толщина слоя насыпи, физико-химический состав зерна; расход $G_{\text{св}}$, температура агента сушки $\theta_{\text{св}}$; параметры окружающей среды: температура, влажность, давление и т. д.

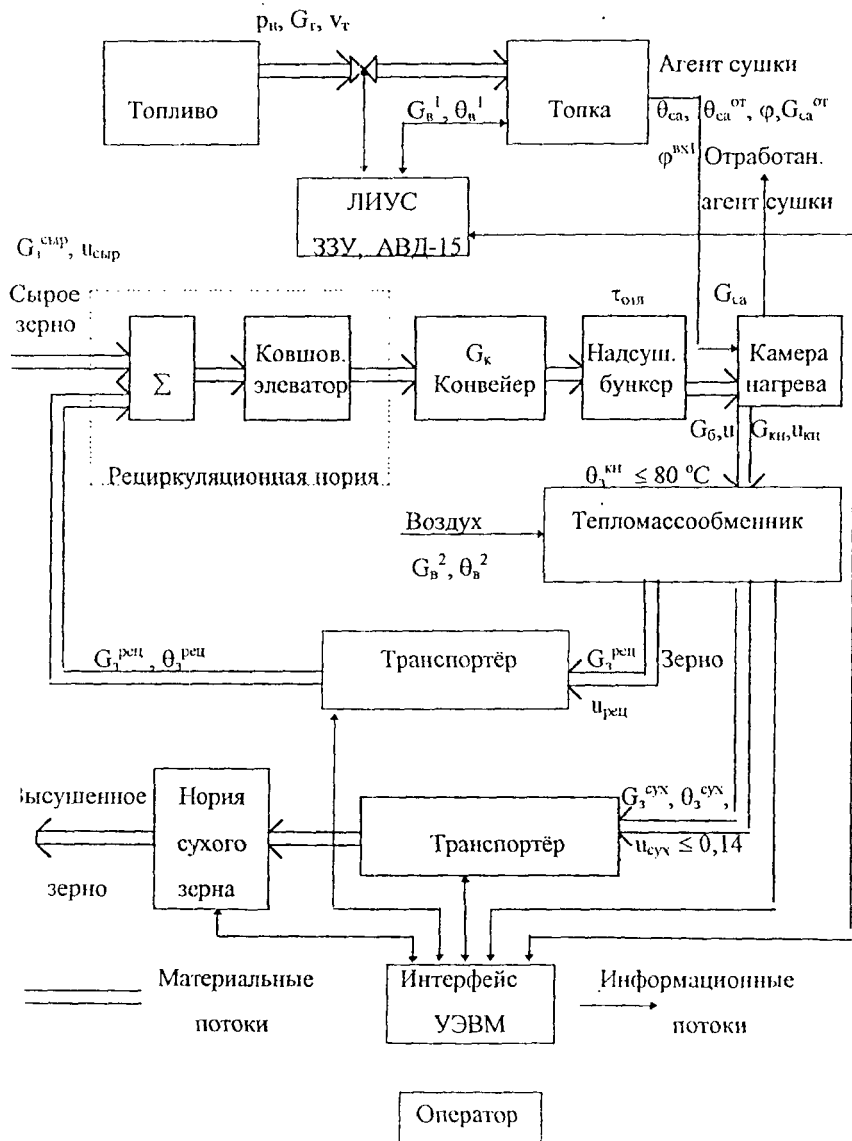


Рис. 1. Структурная схема технологического процесса сушки зерна как объекта управления

Выходными параметрами являются характеристики продукта после окончания технологического процесса: температура $\theta_3^{сух}$, расход $G_3^{сух}$ и влагосодержание $u_{сух}$ высушенного зерна, аналогичные параметры обработанного агента сушки, физико-химические и биологические показатели качества высушенного продукта; характеристики процессов обмена: теплопроводность, влагопроводность, плотность, скорость движения продукта и агента сушки.

На рис. 1 приведены основные технологические и транспортные агрегаты, используемые на зерносушилке РД2×25-70. Технологический процесс сушки зерна в шахтных сушилках имеет один замкнутый контур, включающий рециркуляционную норию, в башмак которой, помимо рециркулирующего сухого, поступает влажное зерно. Высушенное зерно после теплообменника разделяется на два потока: одна часть поступает на норию сухого зерна, а вторая часть - на рециркуляционную норию. Замкнутый контур делает непрерывным процесс сушки, когда часть высушенного зерна используется для удаления влаги из сырого зерна, поступающего в башмак рециркуляционной норрии.

Вторая глава посвящена разработке, аналитическому и экспериментальному исследованию математических моделей технологического процесса сушки зерна и силового оборудования зерносушилки. В основу построения математических моделей агрегатов сушильного производства положены законы, описывающие физико-химическую кинетику, процессы диффузии и теплопередачи, а также экспериментально снятые характеристики. Для качественной оценки динамики процессов сушки применяются критерии подобия Фурье, Лыкова, Рейнольдса, Шмидта и оценки устойчивости на основе методов А.М.Ляпунова. При этом соблюдается структурно-уровневый принцип, состоящий в последовательном переходе от моделей низкого уровня к моделям более высокого уровня.

На основе допущения, что кинетика удаления влаги из отдельного, усредненного по физическим параметрам, зерна будет совпадать с кинетикой удаления влаги из всей зерновой массы, получены модели тепло- и массообмена технологических агрегатов сушки зерна. В результате проведенных исследований получены асимптотические оценки характеристик и математические модели динамики всех технологических процессов, обеспечивающих сушку зерна: горения топлива в топке и получения агента сушки, отлежки зерна в надсушильном бункере и теплообменнике, обезвоживания зерна в камере нагрева.

Математическая модель процесса производства агента сушки получена в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, которая основана на предположении, что в любой момент времени скорость изменения давления p , определяется разностью между скоростями образования агента сушки и его истечением из топки, а массовая скорость об-

разования агента сушки в момент времени t пропорциональна массовой скорости впрыска топлива в момент времени $t - L$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d v_r}{d t} &= (p_n - p_r + 0,5 K_1 \rho_r v_r^2) (I \rho_r)^{-1}, \\ \frac{d p_r}{d t} &= -K_2 \theta_{ca} p_r + K_3 \rho_r v_r (t - L), \end{aligned} \right\} (1)$$

где p_n и p_r - давление топлива на выходе гидронасоса и внутри топки, соответственно, Па; K_1 - конструктивный параметр гидросистемы; ρ_r - плотность топлива, кг/м³; v_r - скорость потока топлива, м/с; I - эквивалентная длина топливпровода, м; K_2 и K_3 - конструктивные параметры, определяемые геометрией топки; θ_{ca} - абсолютная температура агента сушки, К; L - транспортное запаздывание, с.

Учитывая, что давление p_r и температуру агента сушки θ_{ca} внутри топки измерить практически невозможно, был предложен алгоритм оптимального управления процессом производства агента сушки с минимальной чувствительностью к трудноконтролируемым параметрам.

Вектор $M(t)$, который определяет оптимальное управление процессом производства агента сушки, получен из выражения

$$M(t) = -Y K(t) Z(t) + Y g(t), \quad (2)$$

где $Z(t)$ - расширенный вектор состояния; Y - диагональная матрица расширенной системы; $K(t)$ - решение уравнения Риккати и $g(t)$ - вектор коррекции решения находятся из следующих формул:

$$\frac{dK(t)}{d t} = -K(t) D - D^T K(t) + K(t) E Y K(t) - S, \quad (3)$$

$$\frac{d g(t)}{d t} = -[D - K(t) E Y] g(t) + K(t) G, \quad (4)$$

где D , E и S - некоторые матрицы расширенной системы.

Матрица $K(t)$ и вектор $g(t)$ рассчитываются итеративным образом по следующему алгоритму:

1. Принимаем, что

$$K_N^{(1)}(L) = F, \quad g_N^{(1)}(L) = 0, \quad i = \overline{1, N}.$$

2. Проинтегрируем выражения (3) и (4) в отрицательном времени. В результате найдем

$$K_{ij}^{(1)}(0), g_i^{(1)}(0), \forall i, j = \overline{1, N}.$$

3. Принимаем, что

$$K_{ij}^{(1)}(L) = K_{(i+1)(j+1)}^{(1)}(0), \forall i, j = \overline{1, N-1};$$

$$g_i^{(2)}(L) = g_{i+1}^{(1)}(0), i = \overline{1, N-1};$$

$$K_{ij}^{(2)}(0) = 0,5\{K_{ij}^{(1)}(0) + K_{ji}^{(1)}(0)\}, \forall i, j = \overline{1, N}.$$

4. Повторяем пп. 2 и 3 до тех пор, пока $K_{ij}(0)$ и $g_i(0)$ не станут достаточно мало отличаться от их значений на предыдущем шаге.

5. После выполнения условий п. 4 решается уравнение (2). В результате находится расширенный вектор оптимального управления $M(t)$.

Модель технологического процесса сушки зерна получается, исходя из анализа физико-химических процессов в зерне, происходящих на молекулярном и клеточном уровнях. Зерновая масса состоит из огромного числа отдельных зерен, контролировать параметры которых в отдельности весьма сложно. Поэтому предложено использовать среднестатистические значения параметров технологического процесса по сечению сушильного агрегата.

На основе допущения о псевдооживленном состоянии зерновой смеси в камере нагрева, подтвержденным критерием подобия Рейнольдса, получено математическое описание сушки зерна в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\theta_{ca}^{вх2}}{dt} &= \frac{c_{ca}}{V_{ca}}(\theta_{ca}^{вх1} - \theta_{ca}^{вх2}) - K_{3в} \frac{G_{ca}}{V_{ca}}(\theta_3 - \theta_3^{вх2}), \\ \frac{d\theta_3}{dt} &= \frac{c_{ca}}{V_{ш}}(\theta_3 - \theta_3^{вх2}) - \frac{3K_3}{R V_{ш}}(V_{ш} - V_{ca})(\theta_{ca}^{вх1} - \theta_3), \\ \frac{du}{dt} &= (u_0 - u) - K(u - u_p), \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{G_{ca}}{V_{ш} - V_{ca}}(\varphi^{вх1} - \varphi) + \frac{K_{3ш} G_3}{V_{ш} - V_{ca}}(u_0 - u), \end{aligned} \right\} (5)$$

где

$$K = 23190 \exp(-5892 \theta_3);$$

$$u_p = 0,027 - 0,098 \lg(1 - \varphi);$$

$\theta_{ca}^{вх1}$ и $\theta_{ca}^{вх2}$ - температура агента сушки на входе и выходе камеры нагрева, соответственно, К; θ_3 и $\theta_3^{вх1}$ - температура зерна внутри камеры нагрева и на выходе, соответственно, К; c_{ca} и c_3 - удельные теплоёмкости агента сушки и зерна, соответственно, Дж/(кг×К); $V_{ш}$ - объем камеры нагрева, м³; V_{ca} - объем, занимаемый агентом сушки в камере нагрева, м³; R - радиус зерна, м; u - влагосодержание зерна в камере нагрева; φ - относительная влажность агента сушки; $\varphi^{вх1}$ - начальная влажность агента сушки; u_0 и u_p - начальное и равновесное влагосодержание зерна в камере нагрева, соответственно; G_{ca} и G_3 - объемные расходы агента сушки и зерна в камере нагрева, соответственно, м³/с; $K_{зв}$, $K_{зп}$ и K_3 - зависящие от свойств зерна и агента сушки конструктивные параметры камеры нагрева. Последние параметры, обычно, определяются экспериментально.

Используя массообменный критерий Фурье к предложенной модели удаления влаги из зерна, доказаны следующие положения: 1) скорость сушки, определяемая как производная влагосодержания по времени, не превосходит 0,0029 с⁻¹; 2) минимальное время сушки при превышении влагосодержания допустимого уровня на Δu не ниже $345\Delta u$, с; 3) среднее влагосодержание зерна при конвективной сушке превосходит поверхностное влагосодержание на 0,133. Из последнего положения следует: при нулевом влагосодержании на поверхности зерна среднее влагосодержание будет не менее 0,133, что соответствует кондициям высушенного зерна.

На основании анализа модели горения определено время зажигания τ_3 горючей смеси в топке, вычисляемое по следующей формуле:

$$\tau_3 \approx \frac{1500 \delta^2}{U^2} \frac{\theta_a - \theta_0}{v_0 G} \lambda, \quad (6)$$

где δ - толщина пламени; θ_a - адиабатическая температура пламени; θ_0 - температура горючей смеси перед поступлением в топку; U - междуэлектродное напряжение; λ - среднее значение коэффициента теплопроводности газовой смеси в топке; G - проводимость междуэлектродного промежутка; v_0 - скорость потока горючей смеси. Подставив в последнюю формулу следующие значения параметров: $\theta_a = 2280$ К, $\theta_0 = 303$ К, $U = 5000$ В, $G = 2 \cdot 10^{-12}$ Ом⁻¹, - найдем, что время зажигания равно 5,2 с. Это значение соответствует уставкам локального регулятора ЗЗУ.

На основании математической модели отлежки зерна в надсушильном бункере сделано заключение, что в случае поступления в надсушильный бункер смеси сухого и сырого зерна, имеющего влагосодержание на 15 % большее, чем у сухого, то после отлежки в надсушильном бункере в течение положенных 20 минут эта разница уменьшится таким образом: а) при температуре отлежки 30 °С - на 1 %, б) при температуре отлежки 40 °С - на 1,9 %, в) при температуре отлежки 50 °С - на 3,7 %. Поэтому представляется целесообразным использовать отработанный агент сушки для подогрева зерновой массы в надсушильном бункере.

Третья глава посвящена исследованию моделей измерительной информационной подсистемы АСУТП сушки зерна, в которой на основе предложенных устройств определены функциональная её структура и протоколы обмена информацией, разработаны методики оценки и расчёта характеристик преобразования импульсных датчиков.

Рассматривая импульсные датчики технологических параметров, состоящими из первичных и вторичных преобразователей, получены их математические модели, определена нормированная чувствительность

$$S_{\text{кн}}^y = \frac{2 K_b k l_1}{\sin(2kl)} \left[\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - 1 \right], \quad (7)$$

где ε_1 и ε_2 - относительные диэлектрические проницаемости соседних сред; K_b , l и l_1 - конструктивные параметры первичных преобразователей; k - комплексное волновое число.

Из анализа (7) следует, что для надежной работы измерительного прибора, использующего ёмкостные первичные преобразователи, необходимо: а) достаточно глубоко погружать первичные преобразователи в исследуемую среду; б) иметь достаточное отношение диэлектрических проницаемостей свободного пространства ε_1 и исследуемой среды ε_2 . Наличие заметных потерь электромагнитной энергии в исследуемой среде ухудшает линейность характеристики преобразования первичного датчика и повышает погрешность измерения технологических параметров.

Для вторичного преобразователя импульсного датчика получена зависимость, связывающая его входное сопротивление с основными параметрами электронной схемы:

$$R_{\text{вх}} = -R \operatorname{th}^2 \left[\frac{\alpha T}{2} \right] \left[1 - \frac{\exp(-\alpha T) + \exp(-2\alpha T)}{2} \right], \quad (8)$$

где R и R_n - номинал нагрузочного резистора и дифференциальное сопротивление падающего участка ВАХ негатрона импульсного датчика; T - период квантования; α - частота сопряжения аperiodического звена первого порядка.

Из формулы (8) видно, что наивысшую чувствительность к изменению технологических параметров можно достичь, если номинал нагрузочного резистора R составляет половину абсолютного значения R_n .

Для схемы импульсного датчика, содержащей p транзисторов и q биполярных диодов, рассматриваемой как многополюсник с $(2p + q)$ парами полюсов, сформулированы критерии принадлежности электронной части импульсного датчика к негатронам типа S, найдены формулы для определения входного сопротивления $R(M)$ биполярных

$$R(M)^{-1} = \frac{G_1 \{ \det(1_q - MP) + G_1 B \operatorname{adj}(1_q - MP) MA \}}{\det(1_q - MP)} \quad (9)$$

и униполярных полупроводниковых структур

$$R(M) = G_1^{-1} \frac{\det(1_q - MP)}{\det[1_q - M(P - G_1^{-1} AB)]}, \quad (10)$$

где G_1 и B - действительные матрицы проводимостей электронной схемы; P и Q - действительные квадратные матрицы порядка $(2p + q)$; C - действительный вектор размера $(2p + q)$; A и V - действительные квадратные матрицы порядка $2p + q$; M - матрица коэффициентов усиления по напряжению размером $q \times p$; 1_q - единичная матрица порядка q .

В результате проведённых исследований предложены методики расчёта, позволяющие машинными методами рассчитывать новые измерительные приборы контроля технологических параметров сушки зерна.

Четвертая глава посвящена разработке алгоритмов управления процессом сушки зерна в рамках проектируемой АСУТП.

Основой обобщенного алгоритма управления служат математические модели технологического процесса сушки и измерительно-информационной подсистемы с использованием ограничений на параметры технологического процесса (температура, расход материалов, производительность, качество готового продукта). Параметры моделей нестационарны и зависят от многих факторов, поэтому нельзя, оценив один раз, использовать их в дальнейшем как константы. Выходом из этого положения является предложенный алгоритм адаптивного управления (рис. 2).

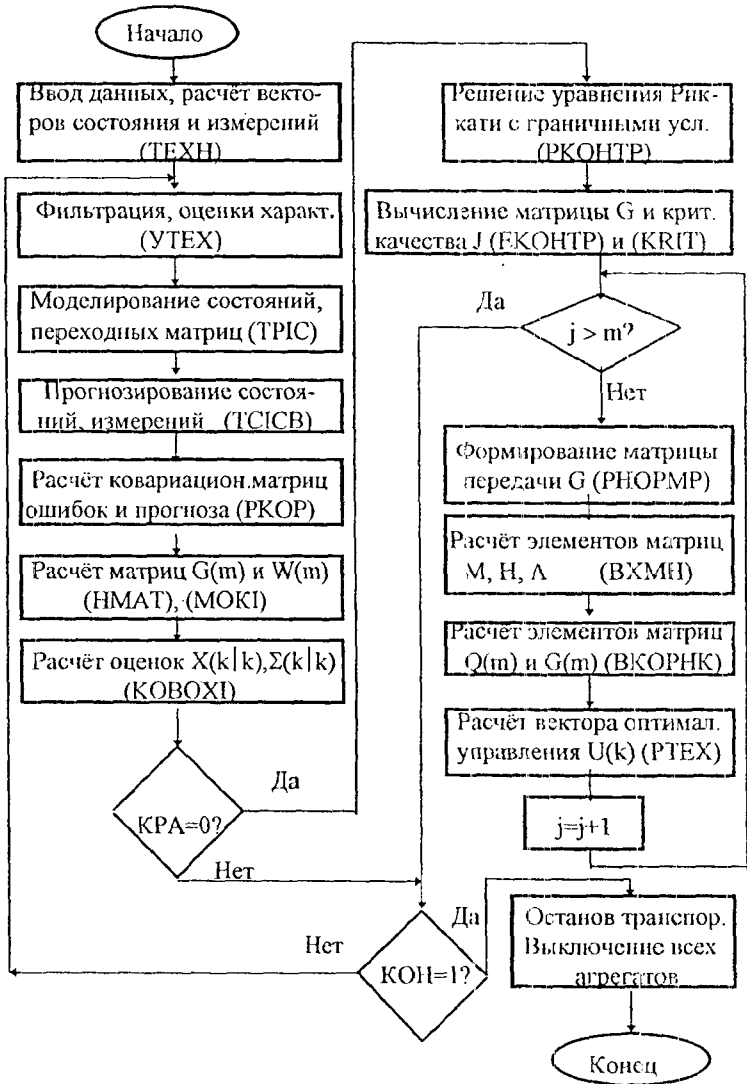


Рис. 2. Обобщённая алгоритмическая структура управления сушкой зерна

Процесс адаптации строится на основе проведения оценок вектора состояния технологического процесса $X(k)$ и вектора измерения $Z(k)$ (k - показатель рекурсии), корректировки существующей модели на основе квадратичного критерия качества. Полученные модели периодически линейризуются в окрестности рабочей точки. Такой подход позволил применить к нелинейным математическим моделям разработанную Калманом теорию оптимальной фильтрации. Для линейризованных уравнений состояния и управляющих воздействий использован квадратичный критерий качества управления технологическим процессом сушки зерна:

$$J = E \left\{ \sum_{k=1}^N [X^T(k) Q(m) X(k) + U^T(k) R U(k)] \right\}, \quad k, m \in N, k > m, \quad (11)$$

где E - оператор математического ожидания; $Q(m)$ и R - неотрицательно определенные квадратные весовые матрицы соответствующих порядков; $U(k)$ - вектор управляющих воздействий.

Оптимальное управление, исходя из квадратичного критерия качества (11), находится по формуле

$$U(k) = -G(m) X(k|k), \quad (12)$$

где $G(m)$ - матрица коэффициентов усиления (передачи) обратной связи, которая определяется на основе линейризованных оценок векторов состояния и измерения и решения матричного уравнения Риккати. Матрица $G(m)$ определяется по следующим формулам:

$$G(m) = \{ R + B^T P(k+1) B \}^{-1} B^T P(k+1) A, \quad (13)$$

$$P(k) = Q(m) + A^T P(k+1) A - A^T P(k+1) B \{ R + B^T P(k+1) B \}^{-1} B^T P(k+1) A. \quad (14)$$

Матрица $G(m)$ является единственной для данных весовых матриц $Q(m)$ и R . Однако в условиях адаптивного управления весовая матрица $Q(m)$ вычисляется периодически, обеспечивая заданную устойчивость прогекания технологического процесса сушки зерна, т. е. осуществляется оптимальное модальное управление.

При модальном управлении осуществляется замена собственных значений переходной матрицы исходной системы без обратной связи λ_j на заранее определенные значения z_j . В результате замены одних собственных значений на новые, получена матрица обратной связи

$$G(m) = \sum_{j=1}^n G_j(m), \quad (15)$$

где n - количество замененных собственных значений.

Формула (12) определяет вектор оптимального модального управления $U(k)$. При этом обеспечивается оптимальное значение запаса устойчивости системы управления при наличии неконтролируемых возмущений, неточностей принятых моделей, разрядности передаваемых сообщений, заданной частоты квантования и допустимой погрешности округления при вычислениях на ЭВМ. Доказана сходимость предложенного обобщенного алгоритма оптимального управления сушкой зерна.

Пятая глава посвящена экспериментальной проверке теоретических результатов, полученных в диссертации, оценке их достоверности и точности, определению статистических характеристик элементов АСУТП сушки зерна, выбору оптимальных параметров системы управления.

Сравнение ручного и автоматического управления процессом сушки зерна показало, что в первом случае положение регулирующих органов длительное время остается неизменным, поэтому процесс сушки протекает не в оптимальном режиме, с перерасходом энергоносителей. При автоматическом управлении достигается экономия энергоносителей на 10-15 % с увеличением выхода сухого зерна на 5-10 %.

Проверка точности моделей технологического процесса, импульсных датчиков и преобразователей производилась на реальных объектах и макетах с использованием вычислительных машин. Оптимальный период квантования найден 0,005 с. Погрешность обобщения информационно-измерительного канала находилась в пределах 5-10 %, что удовлетворяет требованиям оптимального адаптивного алгоритма управления.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Разработаны математические модели отдельных стадий технологического процесса, обеспечивающие построение обобщенного алгоритма управления технологическим процессом сушки зерна;

2. Определены требования к измерительно-информационной подсистеме АСУТП сушки зерна, на основании которых определены основные параметры моделей импульсных датчиков технологического процесса;

3. Обоснованы критерии оценки и методики расчёта импульсных датчиков на основе негatronов типа S, позволившие создать новые измерительные приборы, приоритет которых защищён патентами и авторскими свидетельствами;

4. Разработан обобщенный алгоритм адаптивного управления технологическим процессом сушки зерна, позволивший осуществить функционирование зерносушилки в оптимальном режиме;

5. Реализованы и внедрены в производственных условиях модели и алгоритмы управления сушкой зерна в рамках промышленных АСУТП;

6. Автоматическое управление процессом сушки обеспечило экономию энергоносителей на 10-15 % при увеличении выхода сухого зерна на 5-10 %. Экономический эффект составил 51,5 тыс. р./год на одном элеваторе (в ценах 1998 г.).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Щеголеватых А.С., Юршин Е.Д. Математическая модель процесса сушки зерна в шахтных сушилках// Системы управления и информационные технологии: Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 1997. С. 43 - 48.

2. Математическая модель производства агента сушки/ В.А.Дятлов, С.Л.Подвальный, А.С.Щеголеватых, Е.Д.Юршин // Системы управления и информационные технологии: Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 1998. С. 49 - 52.

3. Щеголеватых А.С., Юршин Е.Д.. Математическая модель техпроцесса АСУТП сушки зерна// Современные проблемы информатизации: Тез. докл. конф. - Воронеж: МУКТ: Изд-во ВГПУ, 1996. С. 35.

4. Подвальный С.Л., Щеголеватых А.С., Юршин Е.Д. Методика расчёта параметров первичных преобразователей (импульсных датчиков)// Системы управления и информационные технологии: Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 1997. С.129 - 134.

5. Критерии устойчивости работы полупроводниковых схем/ А.И.Кривоногов, С.Л.Подвальный, А.С.Щеголеватых, Е.Д.Юршин// Информационные технологии моделирования и управления: Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 1998. С. 124 - 127.

6. Щеголеватых А.С., Юршин Е.Д. Архитектура АСУТП сушки зерна, реализующей набор Калмановских фильтров// Современные проблемы информатизации: Тез. докл. конф. Воронеж: МУКТ: Изд-во ВГПУ, 1996. С. 96.

7. Щеголеватых А.С. Оптимизация частоты прерывания сигналов измерительных устройств в системах управления КПО// Оборудование с числовым программным управлением, 1978. Вып. 7. С. 3 - 4.

8. Щеголеватых А.С. Оптимизация параметров интегральных схем вычислительными методами // Электроника: Сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 1974. Вып. 4. С. 73 - 75.

9. А. с. 706845 СССР, МКИ³ G 06 F 7/02. Устройство для сравнения кодов.

10. А. с. 995017 СССР, МКИ³ G 01 R 27/26, G 01 N 27/22. Устройство для измерения емкости жидкости.

11. А. с. 1157432 СССР, МКИ³ G 01 N 27/02. Кондуктометрический автосгенератор.

12. А. с. 1381345 СССР, МКИ³ G 01 K 7/00. Устройство для многооточечного измерения температуры.

13. А. с. 1429297 СССР, МКИ³ H 03 K 3/282. Мультивибратор.

14. А. с. 1534334 СССР, МКИ³ G 01 K 7/00. Устройство для многооточечного измерения температуры.

15. А. с. 1555158 СССР, МКИ³ B 60 Q 9/00, H 03 B 5/12. Устройство превышения допустимых параметров транспортного средства.

16. Измерительный преобразователь сигналов емкостных датчиков. Пат. 1827029 АЗ СССР; МКИ³ G 01 R 27/26.

17. Щеголеваых А.С., Юршин Е.Д. Микропроцессорная система управления технологическим процессом сушки зерна// Современные проблемы информатизации: Тез. докл. конф. Воронеж: МУКТ: Изд-во ВГПУ, 1996. С. 49.

18. Щеголеваых А.С., Юршин Е.Д. Организация обработки данных и управления АСУТП зерносушилки// Современные проблемы информатизации: Тез. докл. конф. Воронеж: МУКТ: Изд-во ВГПУ, 1996. С. 57.

19. Щеголеваых А.С., Юршин Е.Д. Техническая структура АСУТП на зерносушилках РД2×25-70// Современные проблемы информатизации: Тез. докл. конф. Воронеж: МУКТ: Изд-во ВГПУ, 1996. С. 60.

ЛР № 020419 от 12.02.92. Подписано в печать 13.11.98.

Объем 1,0 усл.печ.л. Тираж 85 экз. Заказ № 284.

Издательство

Воронежского государственного технического университета

394026 Воронеж, Московский пр-спект, 14