

Автореф
М. 64

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М.В.Ломоносова

На правах рукописи

МИТРОФАНОВ Сергей Юрьевич

УДК 62-50:621.86:636.085.6

АЛГОРИТМЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕСОВЫХ ДОЗАТОРОВ
НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ КОМБИКОРМОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Специальность 05.13.07 — автоматизация технологических
процессов и производств (отрасли агропромышленного
комплекса)

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

Одесса-1989

С/С

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Павлов А.И.

Научный консультант – кандидат технических наук, доцент Хобин В.А.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор Карповский Е.Я.
кандидат технических наук, Струнин А.Г.

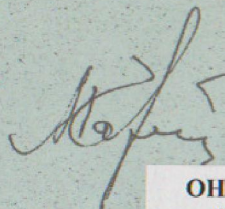
Ведущее предприятие – Особое конструкторское бюро средств измерения масс Одесского производственного объединения "Точмаш"

Защита диссертации состоится "30" июня 1989г. в 14 30 часов на заседании специализированного совета К 068.35.02 в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова по адресу: 270039, г.Одесса, ул. Свердлова, 112, ОТИПИ им. М.В.Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан "26" мая 1989 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
д.т.н., профессор


Л.И.Карнаушенко

ОНАХТ 05.09.12
Алгоритмы и системы



v016572

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: В решениях XXVII съезда КПСС, в частности, поставлены следующие задачи "в... комбикормовой промышленности повысить технический уровень предприятий на базе применения высокоэффективного оборудования и передовой технологии".

Перспективным направлением интенсификации комбикормового производства является внедрение непрерывной технологии смешения с соответствующей заменой оборудования дискретного действия на комплекс дозаторов и смесителей непрерывного действия, что, как уже доказано практикой, позволяет значительно повысить производительность комбикормового предприятия в целом. Эффективность весовых дозаторов непрерывного действия (ВДНД) определяется их высокой производительностью при низких массогабаритных и энергетических показателях, а также удобством согласования с остальным технологическим оборудованием, как правило, работающим по непрерывной технологии. Широкое внедрение ВДНД сдерживается их низкой динамической и статической точностью дозирования, что при использовании смесителей непрерывного действия (СНД) с малым временем перемешивания не обеспечивает требуемую однородность смеси комбикормов, а также необходимость значительных затрат высококвалифицированного труда на их периодическую настройку и обслуживание. Метрологические характеристики ВДНД во многом определяются эффективностью их автоматических систем управления (АСУ), снижение времени обслуживания – использованием алгоритмов автоматизированной настройки на базе микропроцессорной техники.

Цель работы: Разработка и внедрение эффективных АСУ ВДНД для комплексов многокомпонентного дозирования, повышающих производительность и качество смешения комбикормового производства.

Научная новизна: Получены обобщенные математические модели (ММ) ВДНД перспективных конструкций для комбикормовой промышленности, реализованные в виде программ цифрового имитационного моделирования; исследованы статистические характеристики процессов непрерывного дозирования-смешивания и получен критерий оптимальности АСУ ВДНД, отражающий зависимость качества смешения от параметров процесса дозирования; разработаны эффективные структуры систем управления ВДНД для многокомпонентного дозирования и соответствующие алгоритмы, ориентированные на мик-

№ 0. 16572

Одесский технологический институт

ропроцессорные средства, проведена их параметрическая оптимизация.

Практическая ценность результатов работы: Разработанные универсальные модульные микроэлектронные аналоговые технические средства позволяют реализовать эффективные системы управления для всех перспективных типов ВДНД; алгоритмы управления, ориентированные на цифровые средства, позволили на основе предложенных рекомендаций разработать специальное программное обеспечение для типовых микропроцессорных приборов, применение которых улучшает точность дозирования и экономит время настройки и обслуживания ВДНД; полученные оптимальные значения параметров разработанных АСУ ВДНД позволяют настраивать их по минимуму погрешности смесеприготовления комбикормов; разработанный пакет прикладных программ имитационного моделирования ВДНД и систем управления позволяет решать задачи анализа и синтеза эффективных АСУ для комплекса многокомпонентного дозирования на стадии НИР и ОКР.

Внедрение результатов работы: Результаты работы использованы при разработке систем управления серийно выпускаемого ПО "Точмаш" конвейерного ВДНД (КДНД) типа 4488ДН и опытного образца бункерного ВДНД (БДНД) типа 4540ДН для комбикормовой промышленности. Фактический экономический эффект от внедрения технологии непрерывного весового дозирования-смешивания компонентов комбикормов на Резекненском комбинате хлебопродуктов (Латв.ССР) составил 502,7 тыс.руб в год (доля ОТИП им. М.В.Ломоносова - 50,3 тыс.руб. в год) за счет повышения производительности всего комбикормового завода, а также за счет улучшения качества комбикормов. Гарантированный экономический эффект от внедрения КДНД 4488ДН, выпускаемых ПО "Точмаш" в 1989г., составит 705 тыс.руб. в год (доля ОТИП - 20%, т.е. 141 тыс.руб. в год). Ожидаемый экономический эффект от внедрения микропроцессорных систем управления в ВДНД, выпускаемых ПО "Точмаш", составит 800 тыс.руб. в год (доля ОТИП - 160 тыс.руб. в год) за счет уменьшения времени обслуживания и наладки систем управления.

Апробация работы: Основные положения диссертационной работы докладывались на Республиканских научно-технических конференциях: "Пути сокращения применения ручного труда в отраслях пищевой промышленности", Запорожье, 1984г. и "Информатика и автоматизация в регионе", Винница, 1988г.; Всесоюзных научно-технических конференциях "Пути совершенствования технологических про-

цессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания", Москва, 1984г. и "Проблемы автоматизации процессов взвешивания и дозирования", Одесса, 1985г.; на научном семинаре 20.4 "Кибернетика и автоматическое управление" научного совета АН УССР по проблеме "Кибернетика", Одесса, 1985, 1987гг.; научных конференциях ОТИП им. М.В.Ломоносова, Одесса, 1984-1988гг.

Публикации: По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 6 авторских свидетельств на изобретение.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 147 наименований и семи приложений. Основное содержание работы изложено на 138 страницах машинописного текста и содержит 75 рисунков и 14 таблиц.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Математические имитационные модели основных типов весовых дозаторов непрерывного действия.
2. Критерий оптимальности систем управления ВДНД, работающих в комплексе многокомпонентного дозирования.
3. Эффективные структуры систем управления основных типов ВДНД и соответствующие алгоритмы для микропроцессорных средств.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена ее цель, указаны задачи исследований, научная новизна и практическая ценность, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первом разделе проанализированы особенности процессов дозирования в комбикормовом производстве, недостатки порционного и объемного дозирования, перспективность перехода на непрерывную технологию смесеприготовления комбикормов. Проведенный анализ конструкций ВДНД, выпускаемых и разрабатываемых в СССР и ведущими зарубежными фирмами, показал, что наиболее соответствуют особенностям комбикормового производства КДНД с регулируемой скоростью ленты весоизмерительным устройством (ВУ) в виде роликоопоры (для сыпучих компонентов) и БДНД двух типов: с измерением массы материала в бункере и с расходомером, расположенным в выходном потоке материала (для жидких и сыпучих компонентов). Разнообразие свойств дозируемых сыпучих компонентов комбикормов, использование жидких компонентов, большой диапазон расходов, оп-

ределяемый рецептами комбикормов, обуславливают использование ВДНД, построенных по разнообразным конструктивным схемам и имеющих преимущества в определенных случаях.

При анализе типовых систем управления ВДНД перспективных конструкций выявлены основные факторы, ухудшающие метрологические характеристики дозаторов.

Рассмотрена практика моделирования ВДНД, выявлены ее недостатки, связанные с тем, что не учитываются многие факторы, влияющие на точность дозирования, показано, что методы аналитического исследования моделей АСУ ВДНД затруднены из-за сложности их аналитического описания, а в некоторых случаях (например, звенья с переменным запаздыванием) — из-за невозможности получения аналитических решений. Поэтому для исследования и синтеза АСУ ВДНД наиболее рациональным является цифровое имитационное моделирование.

Известные методы оценки точности ВДНД не учитывают особенностей многокомпонентного смесеприготовления в линии дозирования-смешивания (ЛДС), что, в конечном счете, приводит к образованию бракованной продукции. На основании этого сделан вывод, что критерий оптимальности АСУ ВДНД должен отражать зависимость качества смесеприготовления комбикормов от точностных и статистических параметров процесса дозирования.

Во втором разделе на основе исследований ряда КДНД типа 4488ДН и 4273ДН и БДНД типа 4540ДН с различными пределами производительности в лабораторных и производственных условиях получены их полные ММ, связывающие основные входные воздействия, возмущающие воздействия (ВВ), помехи измерений (ПИ): для КДНД — с его производительностью $Q(t)$, для БДНД — с массой материала в бункере $G(t)$. Исследования КДНД и БДНД (обоих типов) с различными пределами производительности и при дозировании различных материалов показывают инвариантность общей структуры ММ к соответствующему типу дозатора. Конкретная конструкция ВДНД и дозируемый материал определяют лишь значения параметров моделей динамики дозатора и возмущений.

В структурах ММ КДНД и БДНД присутствуют некоторые общие элементы: ММ электропривода питателя (ЭП), ММ случайного процесса неравномерности подачи и изменения объемной плотности дозируемого материала (P_m). ММ ЭП учитывает прежде всего в системе "управляющее воздействие — скорость движения (вращения) рабочего органа" несимметрию его динамических характеристик и зависимость

их параметров от скорости привода v . При $\text{sign } du/dt > 0$ (где u — управляющее воздействие от регулятора) динамика ЭП описывается дифференциальным уравнением второго порядка с переменным запаздыванием $\tau_0(t)$. При $\text{sign } du/dt < 0$ и $\Delta u \geq 0,18 u_{\text{max}}$ процесс торможения происходит практически по линейному закону, под действием сил трения и момента нагрузки, что моделируется интегратором. Выбросы в динамической характеристике (при $du/dt < 0$) моделируются при помощи нелинейной функции (двусторонний ограничитель) с переменной шириной гистерезиса.

Описание ВУ в КДНД (с учетом, что $v = \text{var}$) требует использования уравнений с переменными параметрами и аргументом с переменным запаздыванием:

$$P_{vy} = \frac{4}{v^2(t)} \int_0^t \left\{ P_m(t) - 2P_m \left[t - \frac{\tau(t)}{2} \right] + P_m \left[t - \tau(t) \right] \right\} dt, \quad (1)$$

где P_{vy} — выходной сигнал ВУ; $\tau(t) = L/v(t)$ — текущий скользящий интервал усреднения величины массы материала на ВУ, численно равный при $t = t_i$ времени пребывания (τ) материала на весоизмерительном участке ВУ (L) при условии, что скорость v была постоянной и равной $v(t - t_i)$.

Системы с переменным транспортным запаздыванием относятся к классу систем, описываемых дифференциальными параметрическими уравнениями, общая теория которых недостаточно разработана. Поэтому предложен алгоритм имитационного моделирования звена переменного транспортного запаздывания, при этом величине запаздывания $\tau(t)$ ставится в соответствие определенный массив дискретизированных значений сигнала, изменение времени запаздывания вызывает соответствующее изменение размерности массива, а промежуточные значения запаздывающей функции определяются интерполяцией.

Величина вычисляемого расхода в ММ КДНД $Q(t) = k_e P_{vy}(t) \cdot v(t)$ дает искаженную информацию о фактической производительности $Q_0(t)$ вследствие большого числа ВВ и ПИ, инерционности ВУ, а также фазового сдвига за счет смещенности ВУ от конца конвейера, где формируется поток материала с заданным расходом. Величина $Q_0(t) = k_e P_m(t) \cdot v \left[t - \tau(t) \right]$ определяется с помощью ММ идеализированного вычислителя расхода. Сравнение $Q(t)$ и $Q_0(t)$ дает возможность оценивать погрешности КДНД в динамике.

БДНД представляет собой ОУ с интегрирующими свойствами, его ММ, в основном, описывается уравнениями:

$$G(t) = G_T + G_{max} - \int_0^t [Q_{np}(t) - Q_{nz}(t)] dt + \sum_{i=1}^n F_i,$$

$$Q_{np}(t) = k_v \rho q_v(t) v(t), \quad (2)$$

где G_T - масса тары; G_{max} - максимальная масса материала в бункере; Q_{np} и Q_{nz} - производительность питателей разгрузки и загрузки; F_i - ВВ и ПИ; ρ - объемная плотность материала; $q_v(t)$ - объемная производительность питателя.

В ММ ВДНД с расходомером добавляется функция расходомера:

$$Q_p(t) = k_r \Psi [Q(t)], \quad (3)$$

где k_r - коэффициент, зависящий от свойств материала; Ψ - таблично задаваемая функция.

ММ большинства ВВ и ПИ в ВДНД можно представить в виде аддитивных составляющих стационарного нормального случайного процесса и периодической (или почти периодической) компоненты. Процессы в ВДНД, отнесенные к детерминированным, определяются конструктивными параметрами (длина ВУ, длина ленты конвейера, диаметры приводных барабанов и опорных роликов конвейеров, диаметры шнеков и т.п.) и описываются следующими функциями со случайными начальными фазами:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n x_i \sin(2\pi f_i t + \theta_i), \quad (4)$$

где \bar{x} - вектор амплитуд; $\bar{\theta}$ - вектор начальных фаз; \bar{f} - вектор частот, отношения которых f_m/f_n не всегда представляют рациональные числа.

Квазислучайные ПИ, связанные с неравномерностью распределения массы лент конвейеров по их длине, учитывая многообразие их характеристик, моделируются в виде периодической решетчатой функции с ординатами, определенными предварительным анализом реальных лент:

$$F_i(nT, v) = \begin{cases} F_i(nT, v_0) & \text{при } v = v_0 \\ F_i(nT, v_0) + \{F_i[(n+1)T, v_0] - F_i(nT, v_0)\} \Phi(\Delta v) & \text{при } v = v_0 + \Delta v, \end{cases} \quad (5)$$

где Δv - приращение скорости ленты конвейера; Φ - функция, определяющая изменение значения массы ленты между соседними ординатами методом линейной интерполяции.

ВВ и ПИ, отнесенные к случайным, моделируются по их спектральным плотностям мощности с помощью формирующих фильтров первого

го или второго порядка, входным сигналом которых является "белый" шум единичной интенсивности:

$$S_1(\omega) = \sigma_x^2 \frac{\alpha}{\pi(\alpha^2 + \omega^2)}, \quad S_2(\omega) = \sigma_x^2 \frac{2\alpha(\alpha^2 + \omega^2)}{\pi[\omega^2 \alpha^2 - \beta^2 + 4\alpha^2 + \omega^2]} \quad (6)$$

где α и β - параметры формирующего фильтра; σ_x^2 - дисперсия случайного процесса.

На основании ММ ВДНД разработаны и представлены в работе алгоритмические модули и пакет прикладных программ на языке ФОРТРАН для цифрового имитационного моделирования.

В третьем разделе проведен синтез систем управления основных типов ВДНД для комбикормового производства. Для этого на основе исследования процесса непрерывного дозирования-смешивания компонентов комбикормов получен критерий оптимальности АСУ ВДНД.

Результаты статистического анализа процессов n -компонентного смесеприготовления комбикормов в ЛДС показывают, что, даже при отсутствии статических погрешностей дозирования (при измерении расхода ВДНД с большим усреднением), математическое ожидание концентрации i -го компонента в смеси не будет равно заданному значению в случае, если дисперсия расхода какого-либо из i -х компонентов на выходе СНД $D_{ic} \neq 0$.

На основании аналитических исследований процессов в ЛДС получена функция, характеризующая ослабление дисперсии расхода компонентов при прохождении СНД:

$$\Phi(D_i/D_{ic}) = (1 + 2 \frac{\alpha}{\alpha_c}) / [1 + 2 \frac{\alpha}{\alpha_c} + (\frac{\alpha}{\alpha_c})^2 + (\frac{\beta}{\alpha_c})^2], \quad (7)$$

где D_i - дисперсия расхода i -го компонента на выходе ВДНД; α и β - соответственно декремент затухания и частота свободных колебаний формирующего фильтра, используемого для моделирования функции случайных изменений расхода ВДНД; $1/\alpha_c$ - постоянная времени инерционного звена, моделирующего СНД.

Наибольшее ослабление D_i (соответствует $\min \Phi(\alpha, \beta)$), способствующее повышению качества смесеприготовления, происходит при выполнении условий:

$$\alpha \gg \alpha_c, \quad \beta \gg \alpha_c \quad (8)$$

Первое условие (8) соответствует настройке АСУ ВДНД по минимуму среднеквадратической ошибки вне зависимости от ее спектральной характеристики. Второе условие (8) определяет требования к спек-

ральному составу колебаний расхода i -го компонента ВДНД, основная мощность которых должна находиться в верхней области частот, больших, чем α_c ($\beta \gg \alpha_c$).

На основании данных результатов критерий оптимальности АСУ ВДНД представлен следующим образом:

$$J = \frac{k_a}{\tau_k} \int_0^{\tau_k} [\Delta Q_{oi}^c(t)/Q_3]^2 dt + \frac{1}{\tau_k} \int_0^{\tau_k} \{M[Q_3 - Q_{oi}^c(t)]/Q_3\} dt + P(\bar{a}), \quad (9)$$

где $\Delta Q_{oi}^c(t)$ — переменная составляющая i -го расхода на выходе СНД; Q_{oi}^c — статическая погрешность дозирования i -го ВДНД; Q_3 — заданная производительность; τ_k — временной интервал дозирования; $M\{\cdot\}$ — математическое ожидание; $P(\bar{a})$ — штрафная функция, ограничивающая колебательность АСУ ВДНД; k_a — весовой коэффициент, связывающий дисперсию и погрешность концентрации i -го компонента. В работе также получена зависимость $k_a = f(r_i)$, где r_i — величина концентрации i -го компонента.

Вследствие сложности полученных нелинейных, неминимально-фазовых моделей ВДНД, а также отсутствия для некоторых элементов (переменное запаздывание, ВУ при $v = var$) аналитического описания, в работе решалась задача оптимального параметрического синтеза АСУ ВДНД при их заданной структуре методом имитационного моделирования.

Методика выбора структуры систем управления всех типов ВДНД рассматривалась с учетом критерия (9) с точки зрения оптимальных по точности систем. Для повышения предельной точности одноконтурной системы регулирования ВДНД, характеризуемой дисперсией ошибки регулирования, даже с оптимальным алгоритмом при наличии запаздывания в регулирующем контуре необходимо усложнение информационной структуры системы управления, в частности, получение более своевременной информации о ВВ через дополнительные информационные каналы (например, в каскадных схемах регулирования). Использование системы управления с дополнительными информационными каналами целесообразно и при отсутствии чистого запаздывания в контуре, если их введение сужает полосу частот обобщенных ВВ. Поэтому при введении некоторого количества внутренних контуров в каскадной схеме АСУ ВДНД практически близкими к оптимальным могут считаться унифицированные ПИД-алгоритмы, а дальнейшая задача сводится к выбору оптимальных значений настроечных параметров.

В АСУ КДНД для организации дополнительного малоинерционного информационного канала восстанавливаются ВВ, приложенные к ВУ,

для чего реализуется передаточная функция $W_{os}(p, v)$, соответствующая соотношению: $W_{os}(p, v) \cdot W_{cy}(p, v) = const$, где $W_{cy}(p, v)$ — передаточная функция модели ВУ (I). С учетом сдвига ВУ от конца конвейера и соответствующего запаздывания $\tau_T(v)$ передаточная функция дополнительного канала принимает вид: $W_{6M}(p, v) = W_{os}(p, v) \exp[-\tau_T(v)p]$. Введение дополнительного контура регулирования с неминимально-фазовыми звеньями создает трудности с обеспечением необходимого запаса устойчивости. Поэтому в АСУ КДНД использована разомкнутая система компенсации ВВ, выделенных в указанном дополнительном канале:

$$u_6(t) = Q_3 / k_e p u(t) + U_p(t),$$

где $u_6(t)$ — управляющее воздействие ЭП; $p u(t)$ — компенсирующее воздействие; Q_3 — заданная производительность КДНД; $U_p(t)$ — управляющее воздействие внешнего замкнутого контура регулирования расхода. Для компенсации ПИ $E_e(t)$ во внешнем замкнутом контуре усредняется ошибка регулирования расхода $\Phi(t)$ на скользком интервале, кратном времени оборота ленты конвейера $\tau_e(t)$, в устройстве с передаточной функцией:

$$W_{cy}(p, v) = [1 - e^{-\tau_e(v)p}] / \tau_e(v)p.$$

В дополнительном разомкнутом контуре регулирования, учитывая большой относительный уровень $E_e(t)$, используются цифровые компенсирующие фильтры, в которых предварительно анализируется распределение $E_e(t)$ без дозируемого материала и $v = const$.

Каскадная схема АСУ БДНД совмещает два способа регулирования: с интегральным задатчиком массы материала в бункере $G(t)$ и с вычислением расхода дифференцированием, обладающие соответственно высокой точностью и хорошей динамикой. Учитывая цикличность работы БДНД, для упрощения установки начальных значений выходных координат во внутреннем контуре используется ошибка регулирования массы материала в бункере, а в качестве регулируемого параметра вычисляется отклонение от заданного расхода:

$$E_q(t) = k_a [dG(t)/dt - Q_3].$$

Для увеличения коэффициентов передачи в контурах регулирования при сохранении запаса устойчивости во внутреннем контуре введена прогнозирующая коррекция с передаточной функцией: $W_{pk2}(p) = W_{sp}(p) [1 - \exp(-\tau_0 p)]$, во внешнем (с интегрирующим объектом) — $W_{pk1}(p) = k_{pk1} / (\tau_{pk1} p + 1)$. Параметры определяются из соотношений: $\tau_{pk1} = (2-4) \tau_0$, $k_{pk1} = \tau_0 / T_0$, где τ_0 — за-

паздывание в ОУ; T_0 - постоянная времени ОУ.

Для возможности координации АСУ БДНД при догрузке управление производится в этот период по модели объекта, реализованной исходя из соотношения: $G(t) = G_{max} - \int_0^t k_v q_v(t) \rho dt$.

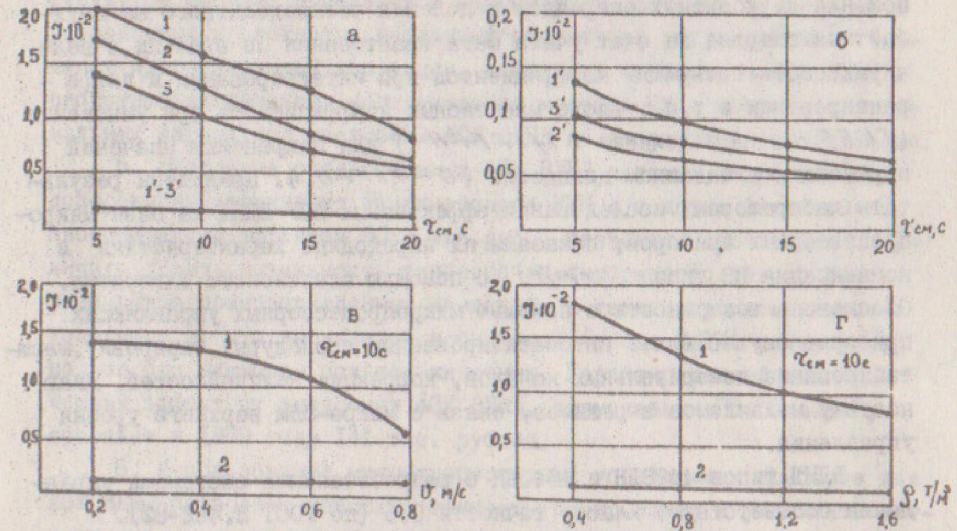
Структура АСУ БДНД с расходомером включает внутренний контур регулирования расхода и внешний контур коррекции сигнала расходомера в период без догрузки по величине $G(t)$, измеренной с высокой точностью в дополнительном канале регулирования, аналогично АСУ БДНД. Такая система позволяет значительно уменьшить производительность питателя догрузки материала $Q_{пз}$, а также, в некоторых случаях, объем бункера.

АСУ ВДНД всех типов работают в условиях априорной неопределенности, вызванной широким диапазоном дозируемых материалов, изменение которых (в основном, объемной плотности) приводит к изменению коэффициента передачи ОУ. Для сохранения оптимальных значений параметров настройки АСУ ВДНД разработана система параметрической адаптации с разомкнутым циклом самонастройки и программной идентификацией характеристик объекта.

На основании представленных принципов разработаны алгоритмические модули АСУ ВДНД, ориентированные на использование микропроцессорных средств. Параметрическая оптимизация АСУ ВДНД проведена на фазе разработанного пакета прикладных программ при моделировании АСУ ВДНД в установившихся режимах во всем диапазоне производительностей с использованием соответствующих ВВ и ПИ. Оптимальные параметры найдены из условия: $\bar{a}^* = \text{argmin}_k \sum_{i=1}^k J_i(\bar{a})$, где k - количество опытов с разными Q_3 .

Результаты сравнительных исследований цифрового моделирования эффективных и типовых АСУ ВДНД по разработанному критерию (9) при различных значениях параметров СНД, объемных плотностей материалов и т.п. представлены на рисунке и показывают значительное преимущество разработанных систем.

Четвертый раздел посвящен технической реализации эффективных АСУ БДНД и КДНД на базе современных аналоговых и микропроцессорных средств управления. На примере исследования модульной аналоговой АСУ БДНД в лабораторных и производственных условиях показаны основные преимущества ВДНД с использованием разработанных алгоритмов управления, включающих параметрическую адаптацию, прогнозирующую коррекцию, использование нескольких информационных каналов о состоянии ОУ и ВВ (на базе каскадных структур или разомкнутых



Исследование АСУ ВДНД по разработанному критерию
 а. типовые АСУ ВДНД: 1-КДНД, 2- ВДНД, 3- ВДНД с расходомером;
 б. эффективные АСУ ВДНД (1'-3'); в. 1 - типовая АСУ КДНД,
 2 - эффективная АСУ КДНД; г. 1 - типовая АСУ БДНД, 2 - эффективная АСУ БДНД; J - критерий оптимальности; τ_{CM} - время эффективного перемешивания СНД; v - скорость ленты конвейера; ρ - объемная плотность материала.

контуров компенсации ВВ), моделирование ОУ. В результате чего динамическая ошибка регулирования производительности инвариантна к изменению свойств дозируемого материала и при реальных ВВ (с положительной частотой до 0,01...0,015 Гц) не превышает 0,1-0,15%. Система управления сохраняет устойчивость при изменении объемной плотности материала от 0,3 до 1,5 т/м³ и позволяет увеличивать коэффициент передачи в контуре до 1500-2000. Модульная конструкция дает возможность перестраивать систему для управления ВДНД всех рассмотренных типов.

Рассмотрены особенности организации системы непосредственного цифрового управления (НЦУ) ВДНД - выбор шага квантования по времени и по уровню, способы представления чисел, источники погрешностей. Предложена методика синтеза специального программного обеспечения систем НЦУ ВДНД, основанная на использовании двухбайтных двоичных чисел в фиксированном формате, минимизации операций ум-

ножения двухбайтных операндов и деления четырехбайтного на двухбайтный операнд за счет учета шага квантования по времени в величинах соответствующих коэффициентов при интегрировании и дифференцировании и т.п., вводе масштабных коэффициентов при умножении ($FFFFH$) и делении ($1/FFFFH$) для сохранения значений переменных в заданном диапазоне ($0 - FFFFH$). Приведены результаты лабораторных исследований эффективных АСУ ВДНД на базе микропроцессорных приборов, показаны их переходные характеристики и компенсация ВВ типа $f_c(t)$ с помощью адаптивного алгоритма. Обоснована возможность с помощью микропроцессорных управляющих приборов осуществлять автоматизированные процедуры: тарировку, масштабирование измерительных каналов, коррекцию нелинейностей, диагностику механизмов и режимов, связь с микро-ЭВМ верхнего уровня управления.

ВДНД типов 4488ДН и 4540ДН с разработанными системами управления соответствуют классу точности 0.5 (по ГОСТ 8.462-82).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Особенности комбикормового производства требуют использования ВДНД различных конструкций (КДНД с регулируемой скоростью ленты, БДНД с измерением массы материала в бункере, БДНД с расходомером) для дозирования сыпучих и жидких компонентов во всем диапазоне заданных рецептом расходов. Необходимая точность дозирования достигается путем использования эффективных алгоритмов управления.

2. Разработаны обобщенные математические модели и пакеты прикладных программ на алгоритмическом языке ФОРТРАН для моделирования как перспективных типов ВДНД, так эффективных систем управления дозаторами, пригодные для инженерных расчетов, например, параметрической оптимизации систем управления, используемых в новых условиях или при модернизации конструкций ВДНД.

3. Полученный критерий оптимальности функционирования ВДНД в составе комплекса многокомпонентного дозирования-смешивания позволяет синтезировать АСУ ВДНД, исходя из конечной цели - производства комбикормовой смеси высокого качества в соответствии с рецептом. При этом ВДНД рассматривается совместно с СНД.

4. Алгоритмы эффективных АСУ ВДНД синтезированы на единой методической основе, позволяющей повысить предельную динамическую и статическую точность дозаторов путем усложнения информационной

структуры систем, выделения и компенсации основных возмущений в разомкнутых и замкнутых каскадных структурах регулирования, введения прогнозирующей коррекции, адаптации параметров АСУ ВДНД к свойствам материалов, использования моделей ОУ и получения оптимальных параметров настройки АСУ ВДНД по разработанному критерию.

5. Внедрение разработанных АСУ ВДНД в линии непрерывного дозирования-смешивания Резекненского КХП с годовым фактическим экономическим эффектом 50,3 тыс.руб., позволило значительно увеличить производительность типового комбикормового завода без расширения производственных площадей, а также улучшить качество комбикорма, что выражается в снижении (около 2,7%) количества корма при плановом привесе животных. Гарантированный экономический эффект от внедрения АСУ ВДНД, выпускаемых ПО "Точмаш", составит в 1989 году 141 тыс. рублей.

6. Использование микропроцессорных управляющих приборов для АСУ ВДНД позволяет повысить точность дозирования и уменьшить затраты высококвалифицированного труда на обслуживание и наладку, получить годовой ожидаемый экономический эффект 160 тыс. рублей.

7. Результаты работы могут быть использованы при разработке высокоточных систем многокомпонентного непрерывного дозирования в ряде областей промышленности, таких, как пищевая, химическая, металлургическая, цементная и т.д.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В РАБОТАХ:

1. Митрофанов С.Ю., Фарфель А.И. Механизация и автоматизация участка дозирования и смешивания компонентов комбикормов // Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. "Пути сокращения применения ручного труда в отраслях пищевой промышленности". - Запорожье, 1984 - с. 26-28.

2. Хобин В.А., Плева А.Г., Митрофанов С.Ю. Моделирование звена с переменным временем запаздывания на ЭЦВМ / Указ. ВИНТИ. Деп. рукописи, 1985, № 7 - с. 181.

3. Хобин В.А., Шаповаленко В.А., Митрофанов С.Ю. Спектральный анализ и цифровое моделирование возмущающих воздействий и помех измерений ленточных ДНД // Тез. докл. всесоюзн. науч.-техн. конф. "Проблемы автоматизации процессов взвешивания и дозирования". - Одесса, 1985 - с. 136-137.

4. Хобин В.А., Митрофанов С.Ю., Гальперин Ф.С., Фарфель А.И. Алгоритмы управления бункерным дозатором в составе комплекса многокомпонентного дозирования // Тез. докл. всесоюзн. науч.-техн. конф.

"Проблемы автоматизации процессов взвешивания и дозирования". - Одесса, 1985 - с. 138-140.

5. Хобин В.А., Митрофанов С.Ю. Математическая модель весового конвейерного дозатора сыпучих материалов // Изв. вузов. Пищевая технология. - 1986, № 5 - с. 103-109.

6. А.с. 1236320 СССР, МКИ G01 G11/14. Весовой дозатор непрерывного действия / В.А.Хобин, С.Ю.Митрофанов, Ф.С.Гальперин, А.И.Фарфель. - Опусл. в Б.И. 1986, № 21.

7. А.с. 1265486 СССР, МКИ G01 G11/14. Весовой дозатор непрерывного действия / В.А.Хобин, С.Ю.Митрофанов, В.А.Шаловаленко, Ф.С.Гальперин, А.И.Фарфель. - Опусл. в Б.И. 1986, № 39.

8. А.с. 1310643 СССР, МКИ G01 G11/08. Весовой дозатор непрерывного действия / Ф.С.Гальперин, А.И.Фарфель, В.А.Хобин, С.Ю.Митрофанов. - Опусл. в Б.И. 1987, № 18.

9. Хобин В.А., Митрофанов С.Ю., Гальперин Ф.С., Фарфель А.И. Алгоритмы управления бункерным дозатором в составе комплекса непрерывного дозирования // Приборы и системы управления. - 1987, №2, - с. 28-30.

10. А.с. 1339410 СССР, МКИ G01 G11/08. Весовой дозатор непрерывного действия / В.А.Хобин, С.Ю.Митрофанов, Ф.С.Гальперин, А.И.Фарфель. - Опусл. в Б.И. 1987, № 35.

11. А.с. 1418576 СССР, МКИ G01 G11/08. Весовой дозатор непрерывного действия / А.И.Фарфель, Ф.С.Гальперин, В.А.Хобин, С.Ю.Митрофанов. - Опусл. в Б.И. 1988, № 31.

12. Хобин В.А., Митрофанов С.Ю., Фарфель А.И. Иерархическое адаптивное управление комплексами непрерывного весового дозирования-смешивания жидких и сыпучих компонентов // Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. "Информатика и автоматизация в регионе". - Винница, 1988 - с. 178.

13. А.с. по заявке № 4345595/10, заявлено 20.10.87. Конвейерный дозатор / В.А.Хобин, С.Ю.Митрофанов, Ф.С.Гальперин, А.И.Фарфель. - Положительное решение ВНИИПЭ от 24.06.88.

14. Митрофанов С.Ю. Автоматическое управление комплексом непрерывного дозирования комбикормов // Интенсификация процессов и новые технологии переработки, хранения и транспортировки в АПК. Сб. науч. трудов. - К.: УМК ВО, 1988. - с. 59-66.

С.Ю.