

Авторефер.

Л 36

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ЛЕВИНСКИЙ Валерий Михайлович

УДК 62-50:621.926(088.8)

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРОИЗВОДСТВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ  
ТИПА "АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ"

Специальность 05.13.07 – автоматизация технологических про-  
цессов 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 – 1988

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

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
Платонов П.Н.

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

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Карповский Е.Я.

кандидат технических наук  
Маноха И.Е.

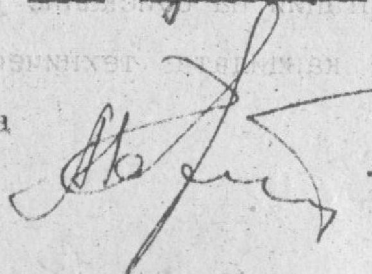
Ведущая организация - Всесоюзный научно-исследовательский  
и проектно конструкторский институт  
автоматизации пищевой промышленности  
НПО "Пищепромавтоматика"

Защита состоится "17" февраля 1939 г. в 1030 час. на  
заседании специализированного совета К 068.35.02 в Одесском  
технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.Ломо-  
носова: 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского  
технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломо-  
носова.

Автореферат разослан "26" декабря 1933 г.

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



Л.И.Карнаушенко

v 016523

с.в. 16523

Одесский технологический институт

ОНАХТ

29.06.12

Управление технологи



v016523

НАЧ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: В решениях XXVII съезда КПСС указывается на необходимость создания автоматизированных производств в перерабатывающих отраслях агропромышленного комплекса (АПК), расширения выпуска высокоэффективных машин, полной загрузки мощностей и оборудования.

Интенсификация ряда технологических процессов (ТП), например, дробления и прессования комбикормов, пневмотранспортирования зерна, распылительной сушки молочных продуктов и др., связана с риском нарушения регламентных условий из-за близости оптимальных режимов работы технологических машин (ТМ) к предельно допустимым.

Превышение координатами процесса своих предельных значений вследствие воздействия внешних неконтролируемых возмущений и изменения с течением времени параметров ТМ как объектов управления (ОУ) приводит к остановкам оборудования из-за срабатывания систем защиты, предотвращающих перерастания аварийной ситуации (АС) в аварию, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях (ТЭП) производства и условиях труда обслуживающего персонала.

Существующие системы управления ТМ (АСУ ТМ), реализующие алгоритмы стабилизации координат в системах регулирования (АСР) и статической оптимизации процесса, не в состоянии обеспечить эффективную и безостановочную работу оборудования в силу того, что не оценивают показателей надежности соблюдения регламента. Поэтому часто на практике для снижения вероятности аварийных остановов ТМ уменьшают их загрузку. В условиях безлюдных производств и роста единичных мощностей оборудования противоречие между эффективностью и надежностью работы ТМ будет углубляться вследствие роста затрат на ликвидацию последствий АС и остановов ТП.

Цель работы состоит в разработке алгоритмов управления, выборе структуры и параметров АСУ ТМ, обеспечивающей эффективную эксплуатацию оборудования при сохранении показателей надежности функционирования не ниже заданного уровня в широком диапазоне изменений условий работы и параметров ТМ.

На защиту выносятся: математические модели и алгоритмы определения вероятности безотказной работы АСУ ТМ; алгоритмы координатной адаптации системы управления, обеспечивающие требуемый уровень функциональной надежности; структуры адаптивных АСУ ТМ и

методика их анализа в установившемся режиме при воздействии случайных возмущений.

Научная новизна. Разработаны математические модели безотказной работы АСУ ТМ как вероятности отсутствия выбросов вектора регулируемых координат за границы допустимого множества для двух основных моделей изменений координат во времени. Получены алгоритмы расчета границ множества допустимых заданных значений в реальном масштабе времени, обеспечивающие требуемый уровень функциональной надежности. Предложены структурные схемы адаптивной системы и проведен их сравнительный анализ.

Практическая ценность. На базе метода статистической линеаризации разработана методика исследований установившихся процессов в адаптивной АСУ ТМ при воздействии на объект управления внешних случайных возмущений. Алгоритмы координатной адаптации, структурные схемы адаптивной системы и методика их исследований могут быть положены в основу инженерных методик анализа и синтеза систем управления для широкого класса промышленных объектов при наличии ограничений типа АС. Разработанные с их помощью адаптивные системы управления загрузкой молотковых дробилок позволили существенно повысить экономические показатели дробильного отделения комбикормового завода против штатного варианта АСР, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Внедрение результатов работы. Опытные образцы систем внедрены на комбикормовых заводах Кулиндоровского (Одесская обл.) и Трикратского (Николаевская обл.) комбинатов хлебопродуктов. Годовой экономический эффект от внедрения составил 60 тысяч рублей. Работы выполнены в рамках хоздоговоров кафедры автоматизации производственных процессов ОТИП им. М.В.Ломоносова № Г.Р. ОI.87.0047663 в рамках научно-технической программы ГКНТ СССР 0.42.01 (задания 05.25.А) и № Г.Р. ОI.86.0024370 в рамках отраслевой научно-технической программы Минхлебопродуктов СССР 0.42.03 (задание 02.03).

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзных (г.Харьков, 1983 г., г.Одесса, 1985 г., г.Кишинев, 1987 г.) и республиканских (г.Винница, 1988 г.), конференциях и семинарах, на конференции молодых ученых и специалистов КТИРПХ (г.Калининград, 1988 г.), на секции "Кибернетика и автоматическое управление" научного совета по проблеме "Кибер-

нетика" АН УССР (г.Одесса, 1984), на отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ОТИПП им. М.В.Ломоносова (1984-1988 г.г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 работ, в том числе получено 5 авторских свидетельств и 2 положительных решения на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы из 142 наименований и приложений. Изложена на 119 страницах машинописного текста, включает 56 рисунков и 4 таблицы. Приложения содержат: программ расчета на ЭВМ (листинги) – 10, таблицу результатов машинного эксперимента, рисунков – 2, актов производственных испытаний и внедрения – 3, расчет экономической эффективности.\*

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена ее цель, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на примерах конкретных ТП различных перерабатывающих производств АПК (непрерывного либо непрерывно-дискретного характера) анализируются особенности работы ТМ при наличии ограничений типа АС. Под АС понимается такое нарушение хода ТП, вызванное отклонением параметров  $X$  ТП за предельно-допустимые, граничные значения  $X_g$ , определенные регламентированными условиями производства, при котором возможна остановка ТП вследствие срабатывания технологических защит либо значительного ухудшения качества готовой продукции. Остановка процесса влечет за собой большие экономические потери и ухудшение условий труда обслуживающего персонала, вынужденного заниматься малоквалифицированным ручным трудом по подготовке оборудования к повторному запуску. Для ряда ТП, которые можно отнести к потенциально опасным, частое возникновение АС грозит перерастанием в аварию, связанную с разрушением оборудования и возможными человеческими жертвами.

В качестве характерных особенностей рассматриваемых ТП отмечаются случайный характер изменения их координат  $x(t)$  во времени под воздействием большого числа неконтролируемых внешних возмущений по сырью и энергоносителям и относительно более медленные изменения свойств ТМ как ОУ. Различный частотный состав параметрических  $\varphi(t)$  и координатных  $f(t)$  возмущений позволяет принять гипотезу о квазистационарности ОУ по параметрам на определенных интервалах времени  $T_c$  и выделить у процесса  $x(t)$  детерминированную  $\bar{x}$  и случайную  $\tilde{x}(t)$  составляющие.

Исследования диссертационной работы направлены на создание АСУ, предупреждающей возникновение АС. Известные структуры АСУ ТМ и алгоритмы управления, положенные в основу их работы, не обеспечивают необходимую надежность функционирования ТМ, безостановочный характер ТП при наличии ограничений на координаты  $X$  типа АС. Астатические АСР в условиях неконтролируемых возмущений обеспечивают примерное равенство  $\bar{x}$  заданному значению (уставке)  $x_z$ , но не могут полностью компенсировать влияние  $f(t)$ , учитывая инерционность ОУ и запаздывание в управлении, поэтому всегда дисперсия  $\sigma_x^2 > 0$ . Известные системы оптимизации статики, следящие за дрейфом экстремума функции эффективности  $G(x)$  и определяющие оптимальные  $x^*$  уставки АСР, в основном, также не учитывают изменение спектрального состава  $X(t)$  и пригодны лишь для систем, у которых нарушение регламента  $X(t) > x_z$  приводит лишь к ухудшению качества, а не к полному нарушению функционирования.

Так как для многих ТП перерабатывающих производств АПК экстремум функции эффективности  $G(x)$  дрейфует вблизи предельно допустимых значений  $x_z$  регулируемых координат, то возникает противоречие между эффективностью и надежностью работы ТМ, которое на практике обходят, удаляя уставки  $x_z$  от  $x_g$ , снижая тем самым производительность оборудования для сохранения непрерывного характера производства.

Известные алгоритмы управления не могут в полной мере разрешить это противоречие, так как объективно не оценивают показатели функциональной надежности работы ТМ в изменяющихся условиях эксплуатации.

Случайный характер изменения координат  $X(t)$  определяет вероятностную природу их превышений за предельно допустимые значения  $x_g$ . На основании теории выбросов случайных процессов можно получить количественные оценки функциональной надежности - оценить вероятность безотказной работы ТМ  $P_g(T_p)$  как вероятность  $P(x(t) < x_g | T_p)$  на определенном интервале  $T_p$  безостановочного функционирования. В работе предлагается для случая, когда экстремум  $G(x)$  дрейфует в допустимом множестве изменений регулируемых координат  $x_g$ , процедуру оптимизации осуществлять с учетом изменений динамических свойств системы. Для этого из условия обеспечения необходимой функциональной надежности работы ТМ

$$P(x(t) < x_g | T_c, x_z, x(t)) = P_g(T_c), \quad T_c < T_p \quad (1)$$

где  $P_g(T_c)$  – заданная допустимая вероятность безотказной работы, определять границы множества допустимых заданных значений  $X_{zg}$ , на которых будут ограничиваться изменения оптимальных значений  $x^* \in X_{zg}$ . В случае, когда  $x^* \notin X_{zg}$ , уставки локальным АСР предлагается устанавливать на уровне  $x_z = x_{zg}$ . Расчет значений  $x_{zg}$  необходимо вести с учетом изменений свойств  $x(t)$  под влиянием  $f(t)$  и  $\varphi(t)$  в реальном масштабе времени. Для реализации предложенной процедуры оптимизации эффективности функционирования ТМ при наличии ограничений типа АС необходимо создать адаптивную систему управления.

Комплексное решение данной основной задачи предполагает разработку следующих вспомогательных вопросов: построения математической модели (ММ) функциональной надежности АСУ ТМ и алгоритма расчета границ  $X_{zg}$  из условия (I); выбора структуры адаптивной АСУ ТМ, соответствующей основным моделям  $x(t)$  и параметрической оптимизации системы по критерию эффективности функционирования ТМ; реализации, промышленных испытаний и внедрения адаптивной АСУ ТМ в одной из отраслей АПК.

Во второй главе решается задача синтеза ММ функциональной надежности АСУ ТМ и текущей идентификации границ допустимого множества  $X_{zg}$ . Из анализа литературных источников и наблюдений за условиями функционирования реальных ТМ принимаются следующие допущения:

1. Свойства неизмеряемого случайного вектора возмущений  $f(t)$  и параметров модели АСУ ТМ таковы, что вектор регулируемых координат  $x(t) = [x_n(t)]$ ,  $n = \overline{1, N}$  является квазистационарным на интервале  $t \in (t_j - \Delta; t_j + \Delta)$ ,  $2\Delta \leq T_c$  дважды (как минимум) дифференцируемым случайным вектором с независимыми компонентами  $x_n(t)$ .

2. При  $x(t) \notin X_g = X$ ,  $X - X = \emptyset$  где  $X$  – множество достижимых, а  $X_g$  – множество допустимых значений  $x(t)$ , границы которого определены условиями

$$\inf X_g = [x_{gn}^-] = x_g^- < \sup X_g = [x_{gn}^+] = x_g^+, \quad (2)$$

возникает АС – событие  $\theta = \theta^+ \vee \theta^-$ . Здесь события  $\theta^+$  и  $\theta^-$  обозначают факт выхода  $x(t)$  соответственно за верхнюю и нижнюю границы  $X_g$ , причем  $\theta^- = \bigvee_{n=1}^N \theta_n^-$ ;  $\theta^+ = \bigvee_{n=1}^N \theta_n^+$ ;  $\theta = \bigvee_{n=1}^N (\theta_n^- \vee \theta_n^+)$ . Множество  $X_g$  можно рассматривать как  $N$ -мерный параллелепипед с независимыми границами  $x_g^-, x_g^+$ .

3. Число выбросов  $\bar{x} x(t) > x_g$  на различных интервалах времени независимо, так как возникновение АС приводит к остановкам ТМ и необходимости их повторных запусков. Поэтому

$$z(x(t), T_p) = \sum_{j=1}^{T_p/2\Delta} z_j(x(t), 2\Delta), \quad 2\Delta \ll T_p. \quad (3)$$

Функционирование ТМ имеет смысл тогда, когда события  $\theta$  возникают крайне редко и  $\bar{z}, \bar{z}^* \ll 1$ , причем вероятность появления на интервале  $(t_j - \Delta; t_j + \Delta)$  более чем одного выброса является пренебрежимо малой величиной. Из приведенных допущений следует:

1. Последовательные события  $\theta_n \forall n=1, N$  взаимно независимы и их появление может быть описано законом Пуассона. При этом вероятность появления события  $\theta_n$  на интервале  $(t_j - \Delta; t_j + \Delta)$  при уставке  $x_{zn}(t_j)$  определится выражением

$$\begin{aligned} P_n^-(\theta_n^- | x_{zn}(t_j), 2\Delta) &= 1 - P_{\sigma_n}^-(x_{zn}(t_j), 2\Delta) = \\ &= 1 - \exp[-\bar{z}_n^-(x_{zn}(t_j), 2\Delta)], \end{aligned} \quad (4)$$

где  $P_{\sigma_n}^-$  - вероятность безотказной работы ТМ на интервале  $2\Delta$ .

2. События  $\theta_n^-$  и  $\theta_n^+ \forall n=1, N$  несовместимы и образуют полную группу событий. При этом вероятность появления  $\theta$  равна

$$\begin{aligned} P(\theta | x_z(t_j), 2\Delta) &= P^-(\theta^- | x_z(t_j), 2\Delta) + P^+(\theta^+ | x_z(t_j), 2\Delta) = \\ &= \sum_{n=1}^N (P_n^-(\theta_n^- | x_{zn}(t_j), 2\Delta) + P_n^+(\theta_n^+ | x_{zn}(t_j), 2\Delta)). \end{aligned} \quad (5)$$

Известно, что на интервалах стационарности  $2\Delta$  среднее число выходов случайного процесса  $x(t)$  за границы (2) равно

$$\begin{aligned} \bar{z}^-(x_z(t_j), 2\Delta) &= \int_{t_j - \Delta}^{t_j + \Delta} \int_{-\infty}^0 \dot{h}^-(t) \rho(x_z^-, \dot{x}_z + \dot{h}^-(t), t_j) d\dot{h}^- dt; \\ \bar{z}^+(x_z(t_j), 2\Delta) &= \int_{t_j - \Delta}^{t_j + \Delta} \int_0^{+\infty} \dot{h}^+(t) \rho(x_z^+, \dot{x}_z + \dot{h}^+(t), t_j) d\dot{h}^+ dt; \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} h^-(t) &= x(t) - x_z^- = x_z(t_j) - \varepsilon(t) - x_z^-; \quad \dot{h}^-(t) = d h^-(t) / dt; \\ \dot{x} &= dx_z / dt; \end{aligned}$$

$\varepsilon(t) = x_z(t_j) - x(t)$  - вектор ошибки стабилизации;  $\rho(\cdot)$  - плотность распределения вероятностей (ПРВ) указанных координат.

Зависимости (4), (5), (6) составляют ММ функциональной надежности АСУ ТМ при наличии ограничений типа АС.

Для проверки применимости закона Пуассона необходимо убедиться, что за среднее время между выбросами  $2\Delta / \bar{z}_n$  нормирования корреляционная функция  $R_x^n(\tau) \approx 0$ .

Известные конкретные ММ функциональной надежности для основных, наиболее часто встречающихся на практике, моделей

изменений  $x_n(t)$

$$x_n(t) = \bar{x}_n(t_j) + \tilde{x}_n(t), \quad (7)$$

$$x_n(t) = \bar{x}_n(t_j) + \tilde{x}_n(t) + s_n(t), \quad (8)$$

где  $\bar{x}_n$  — детерминированная, а  $\tilde{x}_n(t)$  — случайная составляющая  $x_n(t)$ , представляющая собой гауссовский дифференцируемый стационарный на интервале  $2\Delta$  случайный процесс;  $s_n(t) = A_s \cos(\omega_s t + \gamma)$ ;  $A_s, \omega_s - \text{const}$  — амплитуда и частота гармонической составляющей  $s_n(t)$ ;  $\gamma$  — начальная фаза, равномерно распределенная на интервале  $(-\pi; \pi)$ .

Соответственно, для (7) с учетом (4)

$$P_{\delta n}(t_j, 2\Delta) = \exp\left\{-\frac{\Delta}{\pi} \cdot \frac{\sigma_x^2}{\sigma_{\dot{x}}^2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{gn} - \bar{x}_n}{\sigma_x}\right)^2\right]\right\}, \quad x_{gn} - \text{const}; \quad (9)$$

где  $\sigma_x, \sigma_{\dot{x}}$  — среднеквадратические отклонения  $x_n(t)$  и ее производной на интервале  $2\Delta$ ; а для (8)

$$P_{\delta n}(t_j, 2\Delta) = \exp\left\{-\frac{\Delta\omega_s}{\pi} \cdot \frac{2}{\varphi} \int_0^{\frac{\varphi}{2}} \dot{\Phi}(c - a \cos \varphi) \left[ \Phi(aq \sin \varphi + aq \sin \varphi (\Phi(aq \sin \varphi - 0,5))) \right] d\varphi\right\}, \quad (10)$$

где  $\Phi(\cdot)$ ,  $\dot{\Phi}(\cdot)$  — интеграл вероятности и его производная;

$$a = A_s / \sigma_{\dot{x}}; \quad q = \omega_s \sigma_{\dot{x}} / \sigma_{\dot{x}}^2; \quad c = (x_{gn} - \bar{x}_n) / \sigma_{\dot{x}}; \quad \varphi = \omega_s t + \gamma. \quad (11)$$

Учитывая трудности вычисления (10) на серийных управляющих микро-ЭВМ в реальном масштабе времени, в работе предложена ее аппроксимация многочленами Чебышева, наилучшая по критерию наименьших квадратов:

$$P_{\delta n}(t_j, 2\Delta) \approx \exp\left[-\frac{\Delta\omega_s}{\pi} (-1,132 + 2,961q + 3,789a + 0,358c - 2,033q^2 - 0,024c^2 - 8,871qa - 0,8qc - 1,132ac + 2,651qac + 5,962q^2a + 0,054qc^2 - 0,037q^2c^2 + 0,831ac^2 - 1,781q^2ac - 0,195qac^2 + 0,131q^2ac^2)\right], \quad (12)$$

в диапазонах изменений переменных  $a \in [0,25; 3,5]$ ;  $c \in [3; 8]$ ;  $q \in [0,1; 1]$

Для  $a \in [0,25; 2,5]$ , когда ПРВ  $x_n(t)$  остается унимодальной, определены границы изменения  $a, q, c$ , в которых возможна, с достаточной для практики точностью, замена (10), (12) на (9). Разработан алгоритм оценки вероятности безотказной работы АСУ ТМ в реальном масштабе времени на базе зависимостей (9), (12), в которых точные значения характеристик  $\bar{x}_n, \sigma_x, \sigma_{\dot{x}}, a, q, c$  заменены их оценками на скользящем интервале  $2\Delta$ , полученными путем экспоненциально взвешенного усреднения  $x_n(t)$  с использованием известного метода моментов.

Задача текущей идентификации границ  $X_{3g} = [x_{3gn}]$ ,  $n = \overline{1, N}$ , учитывая изменения статистических свойств  $x_n(t)$  вследствие изменений параметров  $f(t)$ ,  $OY$ , и адаптации  $x_3(t_j)$  с учетом (I) и принятых допущений, состоит в решении двух систем  $N$  уравнений

$$\begin{aligned} \inf X_{3g}(t_j) &= [x_{3gn}^-(t_j)] = \arg \{ P_n^-(\theta_n^- | x_{3gn}(t_j), 2\Delta) = P_{gn}^-(\theta_n^- | t_j, 2\Delta) \} \\ \sup X_{3g}(t_j) &= [x_{3gn}^+(t_j)] = \arg \{ P_n^+(\theta_n^+ | x_{3gn}(t_j), 2\Delta) = P_{gn}^+(\theta_n^+ | t_j, 2\Delta) \} \end{aligned} \quad (I3)$$

$\forall n = \overline{1, N}; \forall j = \overline{1, T_p/2\Delta}$ ,

где  $P_{gn}^{\pm}(\theta_n^{\pm} | t_j, 2\Delta)$  - заданные допустимые значения вероятности возникновения АС, причем

$$\begin{aligned} \prod_{j=1}^{T_p/2\Delta} P_{gn}^{\pm}(\theta_n^{\pm} | t_j, 2\Delta) &= P_{gn}^{\pm}(\theta_n^{\pm} | T_p); \\ \sum_{n=1}^N (P_{gn}^-(\theta_n^- | T_p) + P_{gn}^+(\theta_n^+ | T_p)) &= P_g(\theta | T_p). \end{aligned} \quad (I4)$$

Если в результате решения систем уравнений (I3) окажется, что существуют такие моменты  $t_j$ , когда  $x_{3gn}^-(t_j) > x_{3gn}^+(t_j)$ , то значит алгоритмы управления АСУ ТМ не в состоянии обеспечить безаварийную работу ТМ. В случае  $x_{3gn}^-(t_j) \leq x_{3gn}^+(t_j) \forall t_j \in T_p$  для реализации предложенной процедуры оптимизации должна быть проведена адаптация вектора  $x_3(t_j)$  по следующему алгоритму:

$$x_{3n}(t_j) = \begin{cases} x_{3gn}^-(t_j) & | x_n^*(t_j) \leq x_{3gn}^-(t_j) \\ x_n^*(t_j) & | x_{3gn}^-(t_j) < x_n^*(t_j) < x_{3gn}^+(t_j) \\ x_{3gn}^+(t_j) & | x_n^*(t_j) \geq x_{3gn}^+(t_j) \end{cases} \quad (I5)$$

$\forall t_j \in T_p, \forall n = \overline{1, N}$

Для моделей (7), (8)  $x_n(t)$ , с учетом принятых допущений, системы (I3) распадаются на независимые уравнения, а интегралы (6) могут быть вычислены. Тогда из (9), учитывая, что для астатических АСР при  $t \rightarrow T_c$   $\bar{x}_n(t_j) \rightarrow x_{3n}(t_j)$ , для модели (7) легко получить допустимое заданное значение

$$x_{3gn}(t_j) = x_{gn} - \sqrt{2\sigma_x^2 \ln \left[ \frac{A}{\sigma} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma} \cdot \frac{1}{\ln(1/P_{gn}(2\Delta))} \right]}. \quad (I6)$$

Для случая (8), исходя из независимости составляющих  $\tilde{x}_n(t)$  и  $S_n(t)$ ,

$$x_{3gn}(t_j) = x_{gn} - b_{\tilde{x}} b_{\tilde{x}} - b_{\tilde{x}} b_S, \quad (I7)$$

где  $b_{\tilde{x}}$  - вклад  $\tilde{x}_n(t)$ , определяемый аналогично (I6);  $b_S$  - вклад  $S_n(t)$ , который в диапазонах  $a \in [0, 25; 3, 5]$ ,  $q \in [0, 1; 1]$ ;  $\ln(1/P_{gn}(2\Delta)) \in [2, 31; 0, 286 \cdot 10^{-13}]$ , охватывающих значительную часть встречающихся на практике случаев, можно представить в виде регрессионной зависимости

$$\begin{aligned}
 v_5 &= v_0 + v_1 q + v_2 q + v_3 \ln(1/P_{g\delta n}(2\Delta)) = \\
 &= -0,1697 + 0,8595a - 0,0151q - 0,4894 \ln(1/P_{g\delta n}(2\Delta)). \quad (18)
 \end{aligned}$$

Выражения (15)...(18) легли в основу построения адаптивных АСУ ТМ.

В третьей главе проводится выбор структуры адаптивной системы и ставится задача ее параметрической оптимизации по критерию эффективности функционирования ТМ.

Для алгоритмов адаптации (16), (17), (18) разработаны структуры систем, выполняющие расчет  $X_{3gn}$  в реальном масштабе времени по оценкам статистических характеристик  $X_n(t)$  на скользящем интервале  $2\Delta$ . Если  $X_n^* \neq X_g$ , то структура АСУ ТМ включает в себя, кроме контура обратной связи АСР, также контур координатной адаптации  $X_{3gn}$  — адаптивный задатчик (АЗ). Нелинейность алгоритмов (16), (17), (18) затрудняет исследование системы аналитическими методами, поэтому в качестве инструмента анализа использовалось имитационное цифровое и цифроаналоговое моделирование. В результате было установлено:

а) преимущества по сравнению с отбором информации для адаптивного задатчика по сигналу регулируемой координаты  $X_n(t)$  имеют системы с отбором информации по ошибке стабилизации  $\epsilon_n(t)$ , обеспечивающие при той же вероятности невыхода  $X_n(t)$  за границу  $X_{gn}$  наибольшее допустимое заданное значение  $X_{3gn}$  и лучшие динамические характеристики системы, что в свою очередь, положительно сказывается на ее технико-экономических показателях;

б) система сохраняет работоспособность, т.е. исключает выбросы  $X_n(t) > X_{gn}$ , при изменениях интенсивности и спектрального состава внешних возмущений, а также параметров объекта управления. При ограничениях  $X_n(t) \geq 0$ , что всегда наблюдается на практике, использование координатной адаптации  $X_{3gn}$  обеспечивает соблюдение регламента  $X_n(t) < X_{gn}$ , даже если АСР становится неустойчивой;

в) выявленный экстремум (максимум) зависимости  $X_{3gn}$  от интервала усреднения позволяет ставить задачу параметрической оптимизации адаптивной системы по критерию эффективности функционирования ТМ;

г) разработанные структуры АСУ ТМ в пусковых режимах, при выводе ТМ из состояния холостого хода на рабочую нагрузку, выполняет роль инерционного задатчика, причем время выхода на

режим определяется значением интервала  $2\Delta$ .

Решать задачу параметрической оптимизации АСУ ТМ в установленном режиме, т.е. задачу отыскания оптимального значения

$$\Delta^* = \underset{\Delta^{\min} \leq \Delta \leq \Delta^{\max}}{\text{algmax}} \chi_{\text{здн}} [H(x_n(t), P_{\text{здн}}, 2\Delta), \Psi_0, \Psi_P, f(t)], \quad (19)$$

где  $H(x_n(t), P_{\text{здн}}, 2\Delta)$  - нелинейный оператор АЗ;  $\Psi_0, \Psi_P$  - множество допустимых значений параметров ОУ и регулятора; средствами имитационного моделирования практически невозможно из-за большого объема вычислений, связанного с необходимостью перебора параметров системы. В работе предложен аналитико-машинный вариант анализа динамических свойств системы под воздействием случайных возмущений - разработан алгоритм и программа, опирающиеся на результаты статистической линеаризации АЗ, которые могут быть использованы в составе известных процедур оптимизации функции многих переменных при решении задачи (19).

Статистическая линеаризация АЗ была проведена на примере системы, реализующей алгоритм (16), причем линейным эквивалентом АЗ выбрано звено с передаточной функцией  $W_3(p) = k_3 / (T_3 p + 1)$ , для которого путем машинного эксперимента был накоплен банк из 375 значений параметров  $k_3, T_3$  в пространстве переменных значений  $\epsilon^2, \delta^2$   $P_{\text{здн}}, 2\Delta$ . Универсальность результатов данного машинного эксперимента обеспечивалась нормировкой всех сигналов и параметров системы.

Выбор значений допустимой вероятности безотказной работы определяется экономическими и эргатическими критериями АСУТП всего производства и зависит от статистических свойств процесса  $x_n(t)$ , в частности, от вида ПРВ  $x_n(t)$ . Поэтому оценку конкретных значений  $P_{\text{здн}}(2\Delta)$  рекомендуется выбирать по предварительным результатам имитационного моделирования системы. В частности, установлено, чтобы достичь вероятности безотказной работы АСУ ТМ  $P_{\text{здн}}(2\Delta) = 0,997$ , значение  $P_{\text{здн}}(2\Delta)$ , принимаемое для гауссовского распределения  $p(x_n)$  должно быть не менее 0,999.

Четвертая глава посвящена вопросам реализации адаптивной системы, анализу результатов промышленных испытаний и внедрения опытных образцов системы управления загрузкой молотковых дробилок комбикормового сырья.

Анализ литературных источников и наблюдения за АСР тока на грузки  $J(t)$  приводного электродвигателя (ПЭД) дробилок показали, что условия дробления зернового сырья в молотковых дробилках ти-

на АІ-ДП, АІ-ДР позволяют использовать ММ вероятности безотказной работы системы (9) и разработанный на этой базе алгоритм координатной адаптации уставки  $J_{3g}$  (16).

В реальных условиях при воздействии на дробилку как ОУ внешних координатных (в основном по составу перерабатываемого сырья) и параметрических возмущений всегда имеется вероятность превышения током нагрузки ПЭД  $J(t)$  своего предельно допустимого значения  $J_g$ . Предотвращая перерастание АС в аварию, тепловая либо токовая защита отключает ПЭД, дробилка засыпается сырьем и ТП прекращается. Для уменьшения вероятности возникновения АС, оператор смещает уставку  $J_3$  АСР в сторону меньших значений, учитывая на основании своего личного опыта наихудшие возможные условия функционирования на интервале непрерывной работы  $T_p$ .

Использование адаптивной системы, объективная оценка условий работы дробилки по измерениям на интервале  $2\Delta \ll T_p$  статистических характеристик  $J(t)$  позволяют повысить  $J_{3g}$  относительно  $J_3$ , устанавливаемого оператором, что положительно сказывается на технико-экономических показателях процесса и служит основным источником эффективности внедрения системы.

Результаты проверки работоспособности адаптивной системы, реализованной в двух вариантах - на базе микро-ЭВМ и аналоговых средствах, совпали с аналогичными результатами цифрового и цифро-аналогового моделирования. При этом настройка интервала усреднения  $2\Delta$  АЗ в соответствии с алгоритмом и программой анализа системы при воздействии случайных возмущений подтвердила адекватность его статистической линеаризации. Алгоритмы адаптации уставок  $J_{3g}$  позволили практически исключить остановки дробилок из-за превышения  $J(t) > J_g$ , возникающих в результате "замалывания", когда коэффициент передачи ОУ изменяется в большом диапазоне и традиционные алгоритмы стабилизации не в состоянии исключить АС.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Для ТП перерабатывающих производств АПК, повышение эффективности которых связано с риском возникновения аварийной ситуации, предложена процедура оптимизации статических режимов. При этом учитываются изменения статистических свойств координат ТМ под влиянием неконтролируемых координатных и параметрических возмущений случайного характера, а также близость оптимальных режимов к предельно допустимым по регламенту.

2. Разработаны математические модели функциональной надеж-

ности АСУ ТМ для случая независимости компонент вектора регулируемых координат и гауссовской либо композиционной плотности вероятности их изменений во времени. Предложены пути упрощения моделей, позволяющие вести расчет вероятности безотказной работы в реальном масштабе времени на управляющих микро-ЭВМ.

3. Разработаны алгоритмы координатной адаптации задающих воздействий АСР, структурно реализованные в виде дополнительного контура нелинейной обратной связи, учитывающего изменения условий функционирования по оценкам статистических характеристик регулируемой координаты.

4. По результатам статистической линеаризации разработана методика анализа установившихся процессов в адаптивной системе при воздействии внешних случайных возмущений, с помощью которой решается задача параметрической оптимизации системы по критерию эффективности функционирования.

5. На базе микро-ЭВМ и аналоговых средств разработаны технические устройства, реализующие алгоритмы координатной адаптации в системе управления загрузкой молотковых дробилок комбикормового сырья. Производственные испытания подтвердили эффективность адаптивной системы в условиях, когда традиционные АСР не могут гарантировать безаварийность работы.

6. Внедрение адаптивной системы в дробильных отделениях комбикормовых заводов Трикратского и Кулиндоровского КХП позволило поднять производительность дробилок при сохранении требуемой вероятности безотказной работы, автоматизировать пусковые режимы, улучшить условия труда обслуживающего персонала, получить годовой экономический эффект 60 тыс. руб.

7. Дальнейшие исследования, которые расширят применение предлагаемого подхода к анализу и синтезу систем управления реальных ТП, могут быть направлены на создание математических моделей функциональной надежности и алгоритмов адаптации вектора допустимых заданных значений при коррелированных компонентах вектора регулируемых координат как в установившихся, так и в не установившихся (пусковых) режимах, на создание соответствующих методик анализа и синтеза адаптивных систем, на изучение свойств ТП, для которых целесообразно использование рассмотренного подхода.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В РАБОТАХ:

1. Хобин В.А., Левинский В.М. Вероятностная модель функционирования тепловой защиты электроприводов и условия интенсификации ра-

- боты технологических машин / Одесск.технолог.ин-т пищ.пром.-  
Одесса, 1983. - 7 с.- Библиогр.: 3 назв.- Деп. в Укр НИИТИ  
22.02.83, № 129Ук-Д83.
2. Хобин В.А., Левинский В.М. Оптимизация управления технологи-  
ческими машинами при ограничениях типа "аварийная ситуация" /  
Одесск.технолог.ин-т пищ.пром.- Одесса, 1983. - 8 с. - Библиогр:  
4 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 21.04.83, № 326Ук-Д83.
3. Хобин В.А., Левинский В.М., Митрофанов С.Ю. Интенсификация  
процессов сушки молока средствами автоматического управления //  
Тез.докл. Всес. науч.-техн. семинара "Оптимизация процессов суш-  
ки", Харьков, 29-30 сентября 1983 г.-Харьков, 1983.-с. 155-156.
4. Хобин В.А., Плеве А.Г., Редунов Г.М., Шаповаленко В.А.,  
Трач А.И., Левинский В.М. Математические модели дробилок комби-  
кормовых производств /Одесск.технолог.ин-т пищ.пром.-Одесса, 1984.-  
25с.-Библиогр: 9 назв.-Деп. в УкрНИИТИ 4.05.85, № 892 Ук-85 Деп.
5. Управление потенциально опасными технологическими процессами  
в условиях гибких производств / П.Н.Платонов, В.А.Хобин, В.М.Ле-  
винский, А.Г.Плеве //Тез.докл. IV Всес.науч.-техн.конф. "Матема-  
тическое моделирование сложных химико-технологических систем;  
Одесса, 10-12 сент.1985 г. - Одесса, 1985.- с. 114-115.
6. А.С. 1189502 СССР. МКИ ВО2С 25/00. Система автоматического уп-  
равления загрузкой дробилки / В.А.Хобин, В.М.Левинский, А.Г.Пле-  
ве, Г.М.Редунов (СССР).- № 3715847/29-33; Заявлено 28.03.84;  
Опубл. 07.11.85, Бюл. № 41. - 7 с.: ил.
7. Плеве А.Г., Левинский В.М., Хобин В.А. Управление технологи-  
ческими машинами комбикормового производства на предприятиях с  
высоким уровнем автоматизации //Тез.докл.науч.-техн.конф. "Вопро-  
сы совершенствования управления в пищевой промышленности", Кали-  
нинград, 28-30 июня 1986г.-Калининград, 1986. - с.8-9.
8. А.С. 1251952 СССР. МКИ ВО2С 25/00. Способ и система адаптивно-  
го управления загрузкой дробилки / В.А.Хобин, А.Г.Плеве, В.М.Ле-  
винский (СССР).- № 3866488/29-33; Заявлено 15.03.85; Опубл.  
23.08.86, Бюл. № 31. - 12 с.: ил.
9. Хобин В.А., Левинский В.М. Адаптивное управление технологичес-  
кими процессами при ограничениях типа "аварийная ситуация" //  
Адаптивные системы автоматического управления: Республ. межвед.  
науч.-техн.сб. - 1986.- вып. 14. - с. 84-90.
10. А.с. 1291926 СССР. МКИ G05В 11/01. Адаптивная система управ-  
ления потенциально опасным объектом / В.А.Хобин, В.М.Левинский,  
А.И.Трач (СССР).- № 3863946/24-24; Заявлено 27.02.85; Опубл.

- 23.02.87, Бюл. № 7. - 10 с.: ил.  
 11. А.с. 1296305 СССР. МКИ F26B 25/22. Способ автоматического управления процессом распылительной сушки / В.А.Хобин, В.М.Левинский (СССР). - № 3912744/24-06; Заявлено 13.06.85; Оpubл.
- 15.03.87, Бюл. № 10 - 6 с.: ил.  
 12. А.с. 1301726 СССР. МКИ B30B 9/18. Система управления прессгранулятором / В.А.Хобин, В.М.Левинский, А.Г.Плеве (СССР). - № 3896168/31-27; Заявлено 20.03.85; Оpubл. 07.04.87, Бюл. № 13. - 5 с.: ил.
13. Совершенствование алгоритмического и технического обеспечения систем управлениями технологическими агрегатами АПК /С.В.Воинова, В.М.Левинский, А.Г.Плеве, В.А.Хобин//Тез.докл.Всес.науч.-техн. конф. "Системы управления и средства автоматизации в агропромышленном комплексе", Кишинев, 15-17 сент.1987г.-М., 1987.-с.115-116.
14. Левинский В.М., Плеве А.Г., Птацук А.И. Алгоритмы координатной адаптации системы управления технологическим процессом, обеспечивающие требуемый уровень функциональной надежности //Тез.докл. респ.науч.-техн.конф. "Информатика и автоматизация в регионе", Винница, 23-26 мая 1988 г.- Винница, 1988. - с. 160.
15. Положительное решение Госкомизобретений СССР от 14.07.87 о выдаче авторского свидетельства по заявке № 4184419/24-24, МКИ G05B 11/01. Адаптивная система управления потенциально опасным объектом / В.А.Хобин, В.М.Левинский, Г.М.Редунов (СССР).
16. Положительное решение Госкомизобретений СССР от 11.05.88 о выдаче авторского свидетельства по заявке № 4349125/24-24, МКИ G05B 11/01, Адаптивная система управления потенциально опасным объектом / В.А.Хобин, В.М.Левинский, С.А.Воинова (СССР).

*В.А.Хобин*

№ 16523

Одесский технологический  
 институт пищевой промышленности им. н. В. Ломоносова  
 БИБЛИОТЕКА