

Автор еф.  
Х-68

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

На правах рукописи

ХОБИН Виктор Андреевич

ИССЛЕДОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ И КОРРЕКЦИЯ  
АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ  
СТРУКТУРОЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

05.13.07 - автоматическое управление и регулиро-  
вание, управление технологическими процессами  
(пищевая промышленность)

Принят 1987

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Одесса - 1979

Поверніть книгу не пізніше  
зазначеного терміну

- 3 -

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. XXV съезд КПСС определил экономическую стратегию партии в условиях развитого социалистического общества. Суть ее, важнейшая ключевая проблема - всемерное повышение эффективности общественного производства. В "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 годы" разработан комплекс мер, выполнение которых позволит решать поставленные задачи. Одна из них: "... последовательно осуществлять переход к разработке производству и массовому применению высокоэффективных систем машин, оборудования, приборов и технических процессов, обеспечивающих механизацию и автоматизацию всех процессов производства...".

Содержание этого положения отражает глубокую, существующую объективно, взаимосвязь между отдельными сторонами, характеризующими процесс производства. Отсюда очевидно, что совершенствование средств производства и его технологии не снимает вопроса повышения эффективности управления, а напротив, ставит его еще более остро. Интенсификация технологических процессов, являющаяся основой повышения их эффективности, и возрастающие требования к качеству продукции вместе с ограничениями на режимы эксплуатации оборудования и возможности человека-оператора, являются объективно противоречивыми. Устранить это противоречие, сгладить его, возможно за счет повышения эффективности (качества) управления технологическими процессами, наиболее совершенной формой которого являются АСУ ТП.

Использование системы управления совершенной по форме еще не гарантирует успеха. Непременным тому условием должно быть совершенство его содержания, суть которого информационные связи и алгоритмы переработки информации - структура АСУ ТП. Степень этого совершенства определяется практикой ее эксплуатации и есть величина прироста эффективности производства от ее функционирования. Достичь мак-

водственных  
ой промышлен-

еских наук,  
ВЯГ В.А.

их наук,  
ЕЦКИЙ И.И.

ких наук,  
СКИЙ Г.Г.

научно-производственное  
"Пищепромавтоматика"

79 г. в 14<sup>30</sup> час.

88.35.01 (специальность

та пищевой промышлен-

цесса-39, ул. Свердло-

блиотеке института.

1979 г.

И.С. МИРОНОВ

Автореферат в 013259  
Х-68 ХОБИН В.А.  
УССА. ОПТИМИЗАЦИЯ  
1979 814

Одесский технологический  
институт пищевой промышленности  
им. С.П. Коренько

В.В. 13259 ✓  
V013259

симального совершенства (максимальной эффективности) АСУ ТП возможно лишь при гармоничном развитии всех уровней ее иерархии. Нижним иерархическим уровнем, основой АСУ ТП, являются локальные АСР и поэтому вопросы повышения их эффективности должны решаться в первую очередь.

Цель работы заключается в решении задач повышения эффективности функционирования промышленных управляемых объектов за счет использования в АСР кусочно-линейных (с переменной структурой) алгоритмов управления с коррекциями.

Научная новизна. Разработан метод исследования автономных переходных процессов в АСР с переменной структурой (АСР ПС), позволивший для любого из возможных режимов движения (скользящего, квазискользящего, переключения, вырожденного) получить методики расчета показателей качества и, тем самым, дать базу для оптимизации параметров системы без априорного, и часто неверного, выбора оптимального режима. На базе метода статистической линеаризации разработаны методики исследования неавтономных установившихся процессов в АСР ПС с одной и двумя коммутациями, при действии на управляемый объект внешних случайных возмущений. Предложены структурные схемы коррекции регуляторов с переменной структурой, разработаны их классификация и методики расчета параметров корректирующих звеньев. Получена математическая модель молотковой дробилки, включающая в себя модели статистики и динамики канала регулирования, статистических свойств внешних возмущений, возникновения аварийных ситуаций, экономической эффективности функционирования в составе комбикормового завода. Синтезирована АСР ПС нагрузки молотковой дробилки.

Практическая ценность. Методики исследования установившихся и переходных процессов в АСР ПС, структурные схемы их коррекции и соответствующие методики расчета параметров, могут быть взяты за основу инженерных методик анализа и синтеза таких АСР для широкого клас-

са промышленных объектов, что позволит более целенаправленно и широко внедрять высокоэффективные АСР ПС с коррекцией в производство. Синтезированные с их помощью АСР ПС нагрузки молотковых дробилок позволили существенно повысить технико-экономические показатели (ТЭП) дробильного отделения комбикормового завода против штатного варианта АСР на базе линейных ПИ-законов (алгоритмов) управления.

Внедрение результатов работы. Технический проект многофункционального регулятора с универсальным алгоритмом управления передан Одесскому специализированному монтажно-наладочному управлению ВНПО "Пищепромавтоматика". Технический проект АСР ПС с прогнозирующей коррекцией нагрузки молотковых дробилок передан Украинскому филиалу ВНИИ комбикормовой промышленности для внедрения в проект Бориспольского комбикормового завода-автомата. АСР ПС нагрузки молотковых дробилок на базе разработанного шестиканального регулятора переменной структуры с прогнозирующей коррекцией внедрена на Трикратском комбинате хлебопродуктов Минзага УССР.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинарах секции "Кибернетика и автоматическое управление" научного совета по проблеме "Кибернетика" АН УССР (г. Одесса, 1972, 1975, 1977, 1978 гг.), на всесоюзных научно-технических конференциях "Интенсификация процессов сушки и использование для этих целей новой техники" (г. Калинин, 1977 г.), "Научно-технический прогресс в зерноперерабатывающей промышленности" (г. Одесса, 1977 г.), на республиканской конференции "Организация работы вычислительных центров в условиях функционирования АСУ" (г. Севастополь, 1972 г.), на республиканском семинаре "Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности" (г. Киев, 1977 г.), на семинаре Северо-Кавказского научного центра высшей школы "Вопросы моделирования и оптимизации систем контроля, управления и защиты" (г. Новочеркасск, 1976 г.), на научно-технических

конференциях ОТИП им. М.В. Ломоносова (г. Одесса, 1973-1978 гг.).

Публикации. По результатам исследований диссертации опубликовано 16 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографии из 171 наименования и приложений. Изложена на 144 страницах машинописного текста, включает 76 рисунков. Приложение включает в себя программы расчетов на ЦВМ ЕС 10 22 (листинги)-4, таблицы исходных данных и результатов их обработки - 10, акты производственных испытаний и внедрений - 4.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении, при рассмотрении роли совершенствования формы и содержания автоматических систем управления технологическими процессами в общей проблеме повышения эффективности социалистического производства, сформулирована проблема повышения эффективности функционирования локальных АСР. При этом совершенствование структурно-алгоритмического синтеза АСР является ее частной подпроблемой, задачи которой должны решаться на первой стадии проектирования (ГОСТ 20913-75).

В первой главе рассматриваются задачи структурно-алгоритмического синтеза АСР, показывается их связь с проблемой повышения эффективности производства, выявляется структура моделей, характерных для пищевой промышленности, и формулируются задачи исследования.

В научном плане, применительно к синтезу локальных АСР, задачи этапов их разработки на стадии "Техническое задание" могут быть объединены в три группы:

1. Предпроектный анализ технологического процесса и формулирование цели создания (внедрения) АСР: 1.1 - выявление основных технических режимов управляемого объекта (ОУ); 1.2 - анализ ограничений на технологические параметры, возникновения и последствий аварийных ситуаций; 1.3 - формулирование целей функционирования АСР.

2. Синтез математической модели (ММ) ОУ: 2.1 - синтез параметрической структуры ОУ и ее формализация в соответствии с целями функционирования АСР; 2.2 - синтез ММ статических и динамических свойств ОУ по каналу регулирования; 2.3 - синтез ММ внешних возмущений; 2.4 - синтез ММ эффективности функционирования АСР; 2.5 - синтез ММ возникновения аварийных ситуаций и функционирования соответствующих защит.

3. Синтез алгоритма управления АСР: 3.1 - вывод уравнения критерия оптимизации; 3.2 - синтез (выбор) алгоритма управления регулятора; 3.3 - оптимизация параметров алгоритма в соответствии с критерием оптимизации; 3.4 - сравнительная оценка эффективности функционирования АСР с различными алгоритмами управления; 3.5 - экспериментальная проверка теоретических выводов в производственных условиях.

Перечисленные задачи тесно взаимосвязаны, но их относительная самостоятельность позволяет на этапе теоретических исследований заниматься ими автономно. Хотя каждая из них является весьма емкой по своему содержанию, в главе они рассмотрены очень кратко. При этом, в соответствии с перечисленными выше задачами, выявлены характерные для пищевой и комбикормовой промышленности особенности и принята структура моделей для теоретических исследований: 1.1 - технологические режимы ОУ: переходные и установившиеся; 1.2 - ограничения: на качественные показатели продукта и режимы эксплуатации оборудования; 1.3 - цель внедрения АСР: повышение ТЭП ОУ.

2.1 - формализованная структура ОУ: входные параметры: регулирующий ( $u$ ) и приведенное аддитивное возмущение ( $f_{вв}$ ) случайного характера (результат действия большого числа неконтролируемых параметров), выходные: регулируемый ( $x$ ), ограничивающие, оптимизируемый; 2.2 - модель ОУ по каналу регулирования (для нормированных параметров):

$$\ddot{y} + (\rho_2 + \nu \rho_1) \dot{y} + \rho_1 \rho_2 x = u(t-\tau) + \nu f_{\text{вв}}(t-\tau) + \rho_2 f_{\text{вв}}(t-\tau) \quad (1)$$

где  $y = dx/dt$ ,  $\dot{y} = dy/dt$ ,  $f_{\text{вв}} = df_{\text{вв}}/dt$ ,  $\nu > 0$ ,  $\rho_1 \rho_2 = 0$  либо 1;  
 $\tau$  - запаздывание; 2.3 - корреляционная функция  $f_{\text{вв}}$ :

$$K_{ff}(\tau_k) = G_{f_{\text{вв}}}^2 \exp\{-d_k |\tau| \}; \quad (2)$$

2.4 - функция цели: зависимость наиболее общего и важного ТЭП - прибыли ( $\Pi$ ) от  $x, y, u$ :

$$\Pi = \sum_{s=1}^{s^0} \int_0^{t_s} [q_{x_s}^2 x^2(t) + q_{y_s}^2 y^2(t) + q_{u_s}^2 u^2(t)] dt \quad (3)$$

где  $s$  - номер интервала кусочно-непрерывной подинтегральной функции;  $s^0$  - число интервалов; 2.5 - вероятность безаварийной работы на интервале времени  $T_{\text{БР}}$ :

$$P_{\text{БР}} = \exp\left\{-\frac{T_{\text{БР}}}{2\pi} \frac{G_y}{G_x} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - x^{(3)}}{G_x}\right)^2\right]\right\} \quad (4)$$

3.1 - критерии оптимальности АСР для переходных и установившихся процессов:

$$\Phi(x, y, u, t) = \int_0^T [q_x^2 x^2(t) + q_y^2 y^2(t) + q_u^2 u^2(t)] dt \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$\Phi(x, y, u) = q_x^2 (m_x^2 + G_x^2) + q_y^2 G_y^2 + q_u^2 (k^2 m_u^2 + G_u^2) \rightarrow \min; \quad (6)$$

3.2 - класс алгоритма управления, обеспечивающий минимизацию  $\Phi$ :  
 линейный или кусочно-линейный, "типовой" алгоритм с переменной структурой (кусочно-линейный)

$$u(t) = \psi_x x(t) + \psi_y y(t) + \psi_\mu \mu(t),$$

$$\psi_x = \begin{cases} d_x & \text{при } xg > 0 \\ \beta_x & \text{при } xg < 0 \end{cases}, \quad \psi_y = \begin{cases} d_y & \text{при } yg > 0 \\ \beta_y & \text{при } yg < 0 \end{cases}, \quad \psi_\mu = \begin{cases} d_\mu & \text{при } \mu g > 0 \\ \beta_\mu & \text{при } \mu g < 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$g(t) = x(t) + \theta_y y(t), \quad \mu(t) = u(t) - \nu \frac{d\mu}{dt}.$$

3.3, 3.4 - оптимизация параметров в АСР ПС (1), (7): возможна при наличии методов расчета и формализованных методик, учитывающих специфику (1)-(7), для всех режимов движения в АСР ПС; для расчета (5) методов и методик нет, для расчета (6) используется метод статистической линеаризации, методик нет; при значениях  $\Phi$ , не обеспечивающих требуемые ТЭП ОУ, необходимо введение корректирующих связей,

их структура определяется главной причиной снижения качества АСР ПС - наличием в ОУ  $\tau > 0$ ; 3.5 - проверка на адекватность принятых моделей и теоретических выводов: возможна только в производственных экспериментах.

Содержание пунктов 3.3-3.4 определяет перечень задач исследования диссертационной работы, пунктов 1.1-3.2 - условия, при которых должны вестись эти исследования, пункта 3.5 - условия проверки результатов исследований.

Во второй главе разрабатывается метод исследования кусочно-линейной АСР (АСР ПС), описываемой уравнениями (1), при  $f_{\text{вв}} \equiv 0$ , (5), (7), методики расчета показателей ее качества в переходных процессах, проводятся соответствующие исследования.

Принципиальная трудность анализа АСР ПС, преодоление которой требует разработки специального метода, заключается в том, что АСР ПС обладает свойствами и линейных (время переходного процесса  $T_{\text{пп}} \rightarrow \infty$ ) и релейных ( $u(t)$  во время переходного процесса претерпевает разрывы непрерывности,  $N$  переключений) систем. Для АСР ПС при  $T_{\text{пп}} \rightarrow \infty$   $N_{\text{пп}} \rightarrow \infty$ . Очевидно, что из-за  $N_{\text{пп}} \rightarrow \infty$  метод точечных преобразований, используемый при анализе релейных систем, неприменим, а интегрирование уравнений движения на их линейных "участках", т.е. между моментами переключения  $u(t)$ , приводит к задаче вычисления бесконечной суммы интегралов. Разработанный в диссертации метод (метод "прогрессий") позволяет вычислить эту сумму. Его основу составляют следующие теоремы и следствия из них:

**Теорема 1.** Время перехода изображающей точки по плоскости  $(x, y)$  с одной линии типа  $S = x + \theta_s y = 0, \theta_s \in (-\infty, \infty)$ , на другую линию того же типа не зависит от начального положения этой точки.

**Теорема 2.** Последовательности фазовых координат, соответствующие поочередному пересечению изображающей точкой фиксированной ли-

нии типа  $S$ , образуют геометрическую прогрессию.

**Следствие 1.** Знаменатель  $\xi$  прогрессии не зависит от начального положения изображающей точки и положения линии  $S$ .

**Следствие 2.** Если  $|\xi| < 1$ , то движение в системе устойчиво.

**Следствие 3.** При  $|\xi| < 1$ , бесконечные суммы интегралов уравнений движения системы для фиксированных  $u(t)$ , могут быть вычислены как суммы убывающих геометрических прогрессий.

В соответствии с методом прогрессий методика расчета (5) для режимов С - скольжения (квазискольжения) и П - переключения, сводится к расчету

$$\Phi^{c,n}(x, y, u, t) = \begin{cases} \left[ \Phi_0^c(t, 1) + \frac{1}{1-(\xi^c)^2} \int_{t_1}^{t_2} \rho_3^c(x, y, u, t, 1) dt \right] x_0^2, \\ \text{при } \text{sign } x(t_1) = \text{sign } x(t_2); \\ \left[ \Phi_0^n(t, 1) + \frac{1}{1-(\xi^n)^2} \int_{t_1}^{t_2} \rho_3^n(x, y, u, t, 1) dt \right] x_0^2, \\ \text{при } \text{sign } x(t_1) = -\text{sign } x(t_2), \end{cases} \quad (8)$$

где  $t_1, t_2, t_3$  - моменты времени, когда ИТ подает на линию переключения  $G = g = 0$ ;  $x(t_1), x(t_2), x(t_3) \in g(t) = 0$ ;  $\rho_3(x, y, u, t, 1) = -q_x^2 x^2(t, x_0 = 1) + q_y^2 y^2(t, x_0 = 1) + q_u^2 u^2(t, x_0 = 1)$ ;  $\Phi_0^{c,n}(t, 1) = \int_0^t \rho_3^{c,n}(x, y, u, t, 1) dt$ .

Вычисление (8) возможно как аналитически, так и при использовании метода моделирования, особенно цифрового. В последнем случае метод прогрессий резко сокращает затраты машинного времени на вычисление  $\Phi$ , что позволяет организовать оптимизационные процедуры, требующие большого перебора вариантов.

Рис. 1 отражает некоторые результаты исследования АСР ПС с помощью метода прогрессий. Кроме того, в работе, на основе метода прогрессий, разработаны методики расчета времени переходного процесса  $T_{\text{пн}}$  при заданной зоне незначимых отклонений (ЗНО), максимального динамического отклонения, перерегулирования, логарифмического декремента затухания.

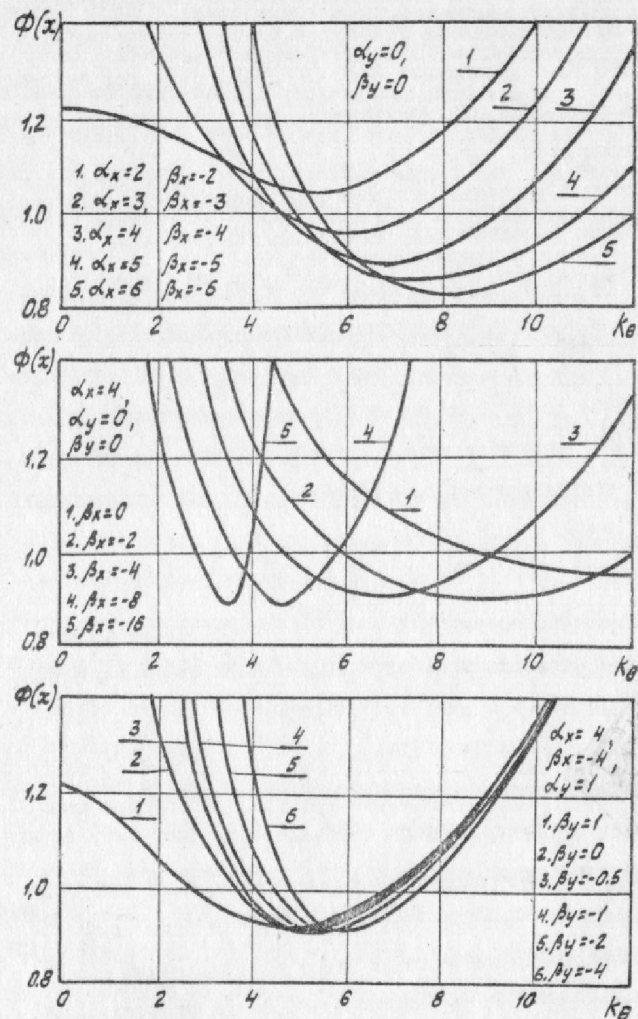


Рис. 1. Интегральные показатели автономных переходных процессов в АСР ПС ( $\tau = 0.5$ ;  $\rho_1 = \rho_2 = \nu = 1.0$ ;  $k\theta = \frac{\pi}{24} \arctg \theta$ ).

В третьей главе на базе метода статистической линеаризации разрабатываются методики расчета показателей качества установившихся процессов в АСР ПС, описываемой (1), (2), (6), (7), при действии на ОУ случайного стационарного возмущения  $f_{вв}$ , проводятся соответствующие исследования.

При определенных условиях, которые для промышленных стабилизированных АСР ПС хорошо выполняются, справедливы соотношения

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |W_{fx}(j\omega)|^2 S_f(\omega) d\omega; \sigma_y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |W_{fy}(j\omega)|^2 \omega^2 S_f(\omega) d\omega, \quad (9)$$

где  $W_{fx}(j\omega)$  - частотная передаточная функция АСР ПС,  $S_f(\omega)$  - спектральная плотность  $f_{вв}$ . Поскольку в АСР ПС  $u(t)$  (7) существенно нелинейно, то  $W_{fx}(j\omega)$  может быть записано только для случая, когда  $u(t)$  аппроксимировано линейным  $\tilde{u}(t, k^{cr}) \approx u(t)$ , где коэффициенты статистической линеаризации  $k^{cr}$  вычисляются для критерия  $M[(u - \tilde{u})^2] = \min$  по формулам

$$k_0^{cr}(\psi_x) = \frac{1}{m_x} M[u_x], k_1^{cr}(\psi_x) = \frac{1}{\sigma_x^2} M[u_x \chi^0], k_2^{cr}(\psi_x) = \frac{1}{\sigma_y^2} M[u_x \gamma^0], \quad (10)$$

где  $m_x$  - математическое ожидание;  $\chi^0, \gamma^0$  - центрированные составляющие координат  $x$  и  $y$ ;  $M[...]$  - знак статистического среднего. Учитывая, что

$$k_0^{cr}(\psi_x) m_x = -\rho_1 \rho_2 m_x - \rho_2 m_f, \quad (11)$$

то решив систему из (9)-(11), определяются  $m_x, \sigma_x^2, \sigma_y^2$  и, как следствие,  $\sigma_u^2$ .

Вычисление (9) и (10) аналитически невозможно, т.к. они включают в себя интегралы от трансцендентных функций, в частности функции Лапласа и передаточной функции звена запаздывания.

Решение системы (9)-(11) на ЦВМ требует весьма значительных затрат машинного времени. Проведение большого количества исследований потребовало упрощения процедур решения, в частности использования результатов, полученных в <sup>\*</sup>), где двумерная функция плотности <sup>\*</sup>) Жильцов К.К. Приближенные методы расчета систем с переменной структурой. М.: "Энергия", 1974, с.125-133.

вероятности Лапласа разлагается в ряд полиномам Чебышева-Эрмита. Передаточная функция звена запаздывания была аппроксимирована дробно-рациональной функцией из двух членов ряда Паде.

Фрагменты результатов исследований приведены на рис. 2. Из них следует, что значение  $\sigma_x^2$  в АСР ПС достигает минимума при  $\theta > 0$ , т.е. она превосходит линейную АСР ( $\theta = 0$ ) по точности регулирования. Значение  $\sigma_y^2$  в АСР ПС монотонно убывает при  $\theta \rightarrow \infty$ , т.е. она превосходит линейную АСР по "мягкости" регулирования. В целом, АСР ПС превосходит линейные АСР по  $\Phi(x, y, u, t)$ . Зона устойчивости АСР ПС расширяется по сравнению с аналогичной линейной АСР. При этом первая качественно отличается от второй тем, что наряду с границей, определяемой устойчивостью свободного движения системы, имеется граница, определяемая устойчивостью вынужденного движения. Первая из них инвариантна к свойствам возмущающего воздействия, вторая - существенно зависит от них.

В четвертой главе разрабатываются структурные схемы коррекции, их классификация, методики расчета параметров корректирующих звеньев с целью повышения эффективности АСР ПС при управлении объектами с запаздыванием.

Для систем регулирования параметров технологических процессов одной из наиболее характерных причин низкого качества управления является наличие запаздывания ( $\tau$ ) в контуре управления. Вопросы коррекции АСР при  $\tau > 0$  возникли и развивались в классе линейных и релейных алгоритмов управления. В классе кусочно-линейных алгоритмов (с переменной структурой) эти вопросы актуальны в той же мере.

Наличие в АСР ПС одновременно линейного и релейного каналов преобразования информации позволяет использовать схемы коррекции, применяющиеся для линейных и релейных АСР. Кроме того, возможно осуществление корректирующих связей, характерных только для АСР ПС.

Разработанные структурные схемы коррекции, куда ранее известные входят как частные случаи, классифицированы по основным, наиболее характерным признакам. Исследуемая АСР без коррекции описывается уравнениями (1), (7), а при наличии всех групп коррекций, в операторной форме, уравнениями

$$\begin{aligned} \forall x^n p^2 + (\rho_2 + \nu \rho_1) x^n p + \rho_1 \rho_2 x^n &= -U^n(p) e^{-pt} \\ U^n(p) &= \psi_x x^n(p), \psi_x = \begin{cases} dx & \text{при } x^n g_k > 0 \\ \beta x & \text{при } x^n g_k < 0, \end{cases} \\ g_k(p) &= (1 - \theta p) W_{kk}(p) x^n(p) + \psi_k v(p). \end{aligned} \quad (12)$$

При этом выделяются следующие группы коррекций регуляторов с переменной структурой (РПС): 1 - коррекция канала коммутации РПС фазоопережающими звеньями  $x^n = x$ ,  $\psi_k = 0$ ; 2 - формирование разрывной функции переключения  $x^n = x$ ,  $W_{kk}(p) = 1$ ; 3 - прогнозирование свободного движения фазовых координат АСР ПС на время запаздывания вперед ( $W_{kk}(p) = 1$ ,  $\psi_k = 0$ ).

Прогнозирование является наиболее эффективным способом повышения качества АСР ПС. Структурная схема прогнозирующей коррекции РПС приведена на рис. 3а. Она может быть существенно упрощена (рис. 3б), когда "собственное" движение координат при  $U = 0$  незначительно по сравнению с их движением под действием управления  $U \neq 0$ , т.к. в этом случае  $\varphi_1^1(\tau) \approx 1$ ;  $\varphi_1^2(\tau) \approx 0$ ;  $\varphi_2^1(\tau) \approx 0$ ;  $\varphi_2^2(\tau) \approx 1$ . Коррекция АСР, соответствующая рис. 3б, известная как "упредитель Смита" (УС). При синтезе АСР с УС применялся метод передаточных функций, который предполагает начальные условия всех звеньев АСР нулевыми. Однако исследования показывают, что это справедливо только для случая, когда  $x(t=0)=0, y(t=0)=0$ . Предельный переход показывает, что начальные условия ОУ и его модели в УС должны совпадать.

Целесообразность выбора той или иной схемы коррекции РПС решается отдельно в каждом конкретном случае.

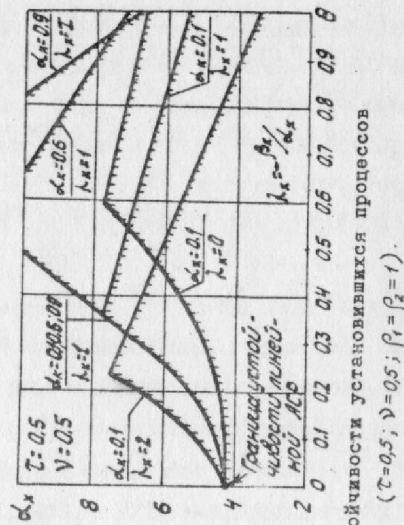
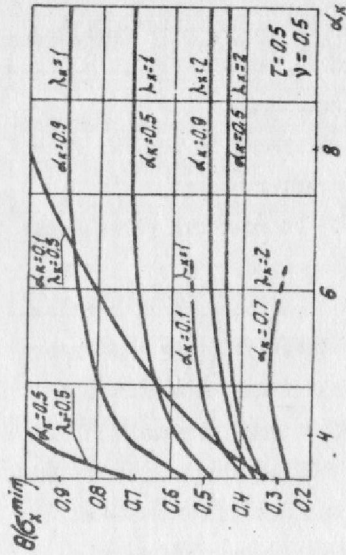
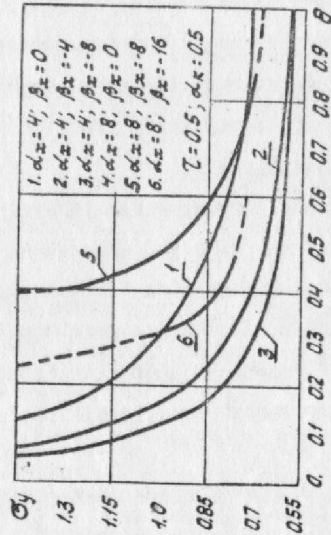
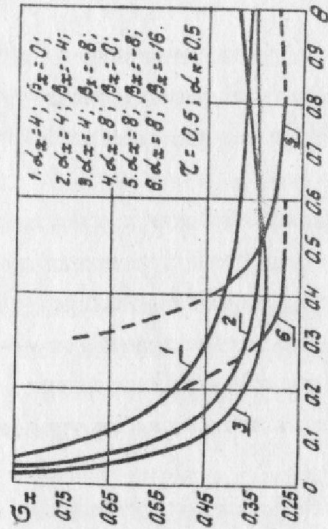


Рис.2. Интегральные показатели и границы устойчивости устоявшихся процессов в АСР ПС, подверженных случайным возмущениям ( $\tau=0.5$ ;  $\nu=0.5$ ;  $\rho_1=\rho_2=1$ ).



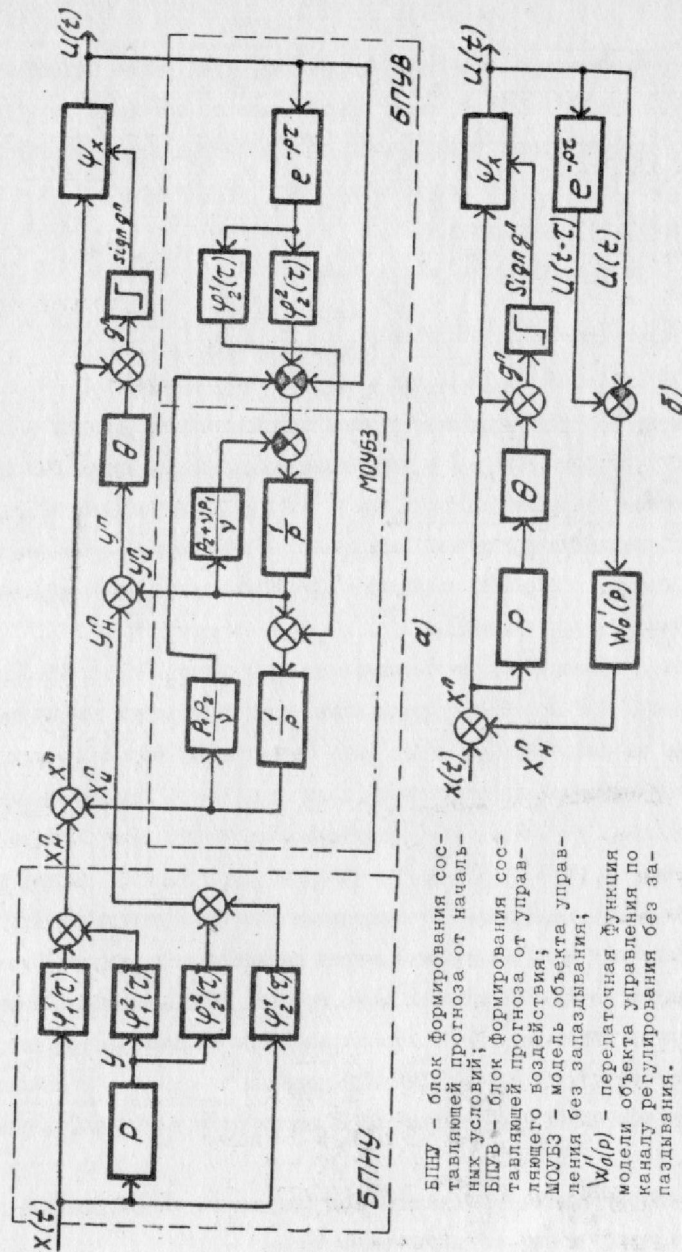


Рис. 3. Структурные схемы РПС с прогнозированием свободного движения фазовых координат.

В пятой главе решаются задачи исследования молотковой дробилки как управляемого объекта и синтеза АСР ПС ее загрузки с целью повышения эффективности функционирования ОУ. Структура главы полностью соответствует структуре главы I, а ее содержание - является развитием содержания главы I на уровне конкретного.

Эксплуатация молотковых дробилок зернового сырья на комбикормовых заводах, в том числе А1-ДДП и А1-ДДР, недавно освоенных промышленностью и имеющих штатную автоматику на базе регулятора РПИБ-М, ведется при весьма низких ТЭП, главным и определяющим из которых является производительность. Для устранения "узкого места" технологической цепи предприятия наращивают мощности дробильных отделений. Очевидно, что такой подход к решению задачи противоречит путям повышения эффективности производства.

Дело в том, что внешние и параметрические возмущения вызывают значительные колебания тока приводного электродвигателя (ПЭД) дробилки. При превышении им номинального уровня нарушается тепловой режим ПЭД и тепловая защита, ликвидируя аварийную ситуацию, прекращает технологический процесс. Для снижения вероятности (частоты) срабатывания защиты обслуживающий персонал смещает задаваемое значение рабочего тока ПЭД в сторону меньших значений. Совершенствуя алгоритмы управления АСР, возможно снизить дисперсию колебаний тока и вести технологический процесс при его номинальных значениях, обеспечивая при этом высокую вероятность безаварийной работы.

Для проверки теоретических выводов этой и предшествующих глав был разработан и реализован на базе микроэлектроники многофункциональный регулятор (РМФ), позволяющий задавать и оперативно изменять алгоритм управления из классов "типовых" линейных алгоритмов (П, ПД, ПИ, ПИД), и соответствующих им алгоритмов с переменной структурой (П СПС+ ПИД СПС).

исследования тех необходимыми коррекциями, в частности прогнозирующей (управляющей) системы

Библиотека

Обширные производственные исследования с РМФ подтвердили высокую эффективность использования алгоритмов с переменной структурой и корректирующими связями для управления объектами с запаздыванием, подверженных внешним и параметрическим возмущениям. В частности, было установлено, что АСР ПС с прогнозирующей коррекцией снижает дисперсию колебаний тока нагрузки ПЭД в 3-6 раз против работы дробилки со штатной автоматикой. При значительных колебаниях свойств сырья (дробление зерносмесей, зерна с добавками шрота, травяных гранул и т.д.), т.е. при значительных параметрических возмущениях, качество регулирования со штатной АСР резко ухудшается и ее регулятор требует перенастройки. В этих же условиях качество АСР ПС с прогнозирующей коррекцией практически не меняется. Кроме того, такая АСР позволяет осуществлять вывод дробилки на заданный режим работы автоматически, обеспечивая при этом переходные процессы, близкие к оптимальным по быстродействию. Фрагменты полученных диаграмм приведены на рис. 4.

Промышленный вариант регулятора, структура которого была окончательно определена в результате испытаний, выполнен на интегральных микросхемах в виде шестиканального прибора и внедрен в дробильном отделении Трикратского комбината хлебопродуктов. Годовой экономический эффект от его внедрения составил более 50 тысяч рублей.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Совершенствование локальных АСР, являющихся основой АСУ ТП, позволяет интенсифицировать технологические процессы, повысить качество продукции, снизить вероятность появления аварийных ситуаций (аварийных остановов оборудования), автоматизировать вывод технологических агрегатов на рабочий режим и, как следствие, повысить технико-экономические показатели производства, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

2. Использование при синтезе АСР регуляторов с кусочно-линей-

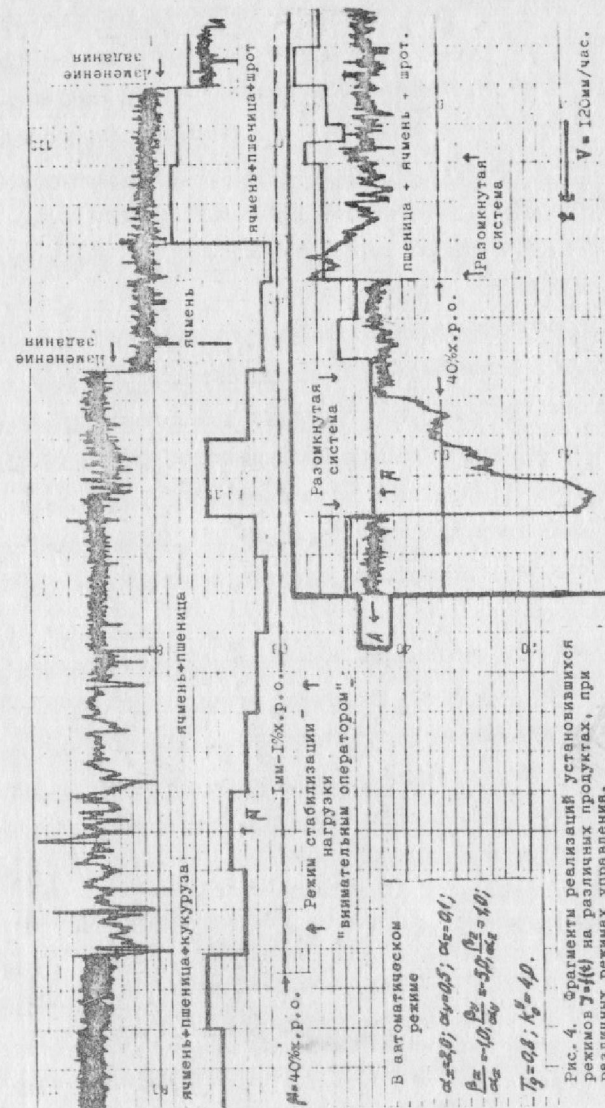


Рис. 4. Фрагменты реализаций установившихся режимов  $T=f(t)$  на различных продуктах, при различных режимах управления.

ными алгоритмами управления (с переменной структурой) повышает точность стабилизации регулируемых параметров, уменьшает динамические ошибки и время регулирования, расширяет область устойчивости АСР ПС по сравнению с линейными системами. Разработанные метод и методики расчета показателей АСР ПС для переходных и установившихся процессов позволяют выбрать параметры РПС из условий обеспечения экстремума критерия оптимальности. Оптимальным режимом движения (по выработанной траектории, скольжения, переключения) в АСР ПС является тот, при котором достигается этот экстремум.

3. Введение корректирующих связей в РПС позволяет существенно повысить качественные показатели АСР ПС при управлении объектами с запаздыванием, наличие которого характерно для промышленных ОУ. Разработанные структурные схемы коррекции, их параметров позволяют для конкретной ситуации выбрать структуру и рассчитать параметры этих связей. Наиболее эффективной является коррекция РПС, формирующая прогнозируемые на время запаздывания вперед фазовые координаты системы управления.

4. Производственные сравнительные испытания АСР нагрузки приводных электродвигателей молотковых дробилок, которые как объекты управления являются нелинейными, нестационарными, с динамической несимметрией, с запаздыванием в канале регулирования и подвержены внешним случайным возмущениям, подтвердили высокую эффективность использования в практике синтеза локальных АСР алгоритмов с переменной структурой и корректирующими связями.

5. Внедрение АСР ПС с прогнозирующей коррекцией в дробильном отделении комбикормового завода Трикратского комбината хлебопродуктов, позволило поднять производительность дробилок до номинального уровня, снизить удельный расход электроэнергии на дробление, обеспечить высокую вероятность обеспечения допусков на тепловой режим эксплуатации электроприводов, автоматизировать пусковые режимы дробилок

и, по сравнению со штатными АСР, реализующих линейные пропорционально-интегральный алгоритм управления, получить значительный экономический эффект.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Прогнозирование в системах с переменной структурой как средство оптимизации их при управлении объектами с запаздыванием.- В сб.: Тез. доклад. респ.конф. "Организация работы вычислительных центров в условиях функционирования АСУ". Киев, УкрНИИТИ, 1972, с.94-95. Авт.: Долгозвяг В.А., Хобин В.А., Лузин И.В., Аксененко В.С.

2. Долгозвяг В.А., Хобин В.А., Аксененко В.С. Переходные и установившиеся режимы в СПС с неидеальностями.- В сб.: "Кибернетика и автоматическое управление". Киев, ИК АН УССР, 1973, с.49-58.

3. Долгозвяг В.А., Лузин И.В., Хобин В.А. Исследование установившегося режима системы с переменной структурой без использования производных.- "Изв. вузов, Электромеханика", 1975, № 8, с.886-890.

4. Регуляторы с переменной структурой с коррекцией канала коммутации для управления объектами с запаздыванием.- "Изв. вузов, Приборостроение", 1975, № 5, с.56-60. Авт.: Долгозвяг В.А., Хобин В.А., Лузин И.В., Паулин О.Н.

5. Об одном принципе коррекции систем с разрывным управлением.- Препринт-76-7. "Синтез элементов и систем автоматики на базе ЭВМ". Киев, ИК АН УССР, 1976, с.19-24. Авт.: Долгозвяг В.А., Антонов А.Б., Федунец П.Д., Хобин В.А.

6. Исследование быстродействующих систем прогнозируемого управления объектами с запаздыванием в условиях возмущений.- "Изв. вузов, Электромеханика", 1976, № 4, с.454-459. Авт.: Антонов А.Б., Гонтарь О.Д., Долгозвяг В.А., Федунец П.Д., Хобин В.А.

7. Автоматическая система регулирования температуры зерна в камерных сушилках.- "Мукомольно-алеваторная и комбикормовая промышленность", 1976, № 5, с.28-29. Авт.: Долгозвяг В.А., Антонов А.Б., Гонтарь О.Д., Федунец П.Д., Хобин В.А.

8. Долгозвяг В.А., Лузин И.В., Хобин В.А. Исследование систем с переменной структурой без использования дифференцирующих устройств.- "Изв. вузов. Электромеханика", 1976, № 8, с.873-877.

9. Опыт практической реализации систем оптимального быстродействия.- "Монтаж и наладка средств информации и связи", сер. УШ, вып. I(99), ЦНТИ, 1977, с.21-24. Авт.: Долгозвяг В.А., Антонов А.Б.,

Гонтарь О.Д., Федунец П.Д., Хобин В.А.

10. Долгозвят В.А., Лузин И.В., Хобин В.А. Об оценке эффективности функционирования автоматических систем управления процессами сушки и способах ее повышения.- В сб.: Тез. докл. Всес. конф. "Интенсификация процессов сушки и использование для этих целей новой техники", М., 1977, с.53-57.

11. Перспективы использования и вопросы оптимизации параметров регуляторов с переменной структурой.- В сб.: "Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности". Киев, "Знание", 1977, с.29-30. Авторы: Долгозвят В.А., Лузин И.В., Федунец П.Д., Хобин В.А.

12. Долгозвят В.А., Федунец П.Д., Хобин В.А. К вопросу об оптимизации переходных процессов в системах с переменной структурой.- "Изв. вузов, Электромеханика", 1977, № 3, с.356.

13. Долгозвят В.А., Лузин И.В., Хобин В.А. Исследование установившихся режимов систем с переменной структурой, подверженной случайным внешним воздействиям.- "Изв. вузов, Электромеханика", 1978, № 11, с.1193-1197.

14. Вадатурский А.А., Долгозвят В.А., Хобин В.А. Перспективы повышения технико-экономических показателей работы комбикормового завода за счет совершенствования алгоритмов управления локальных АСР.- В сб.: Тез. докл. Всес. конф. "Научно-технический прогресс в зерноперерабатывающей промышленности". Одесса, 1977, с. 67-68.

15. Хобин В.А. Вопросы синтеза высокоэффективных автоматических систем регулирования нагрузки молотковых дробилок с целью повышения их технико-экономических показателей.- В сб.: Тез. докл. Всес. конф. "Научно-технический прогресс в зерноперерабатывающей промышленности". Одесса, 1977, с. 73-74.

16. Долгозвят В.А., Хобин В.А. Цель, задачи и пути совершенствования автоматических систем управления молотковыми дробилками зернового сырья.- В сб.: Реф. инф. о НИР в вузах УССР. Киев, "Высшая школа", 1978, вып.13, с.59-60.