

Авторефер.

А 42

Министерство высшего и среднего специального
образования УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

АКСЕНЕНКО
Владислав Степанович

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ
С ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ АЛГОРИТМОВ
И РАЗРАБОТКА ПАКЕТОВ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ НЦУ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ АСУ ТП ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность 05.13.07

Автоматическое управление и регулирование,
управление технологическими процессами
(пищевая промышленность)

автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата
технических наук

Одесса - 1978

В главе I обосновывается необходимость совершенствования способов управления для широкого класса объектов III, производится обзор применений СПС в различных отраслях, анализируются проблемы создания СПС применительно к объектам III и производится постановка задачи.

В главе 2 оцениваются возможности АСР с разрывным управлением (АСР РУ) — релейных и СПС, использующих скользящий режим, — при минимальной информации в функции переключения в условиях случайных и скачкообразных возмущений, а также возможности СПС с жесткой обратной связью по сигналу управления при формировании функции переключения; приводится пример управления моделью конкретного объекта III.

В главе 3 излагается предложенный метод формирования поверхности переключения в СПС (далее обозначаемых СПС*), исследуются влияние начальных условий и условия существования скользящего движения, приводятся алгоритмы СПС* для управления свободным движением и описывается пример управления моделью конкретного объекта в сравнении с исходным вариантом СПС.

В главе 4 приведены полученные на базе предложенного метода алгоритмы СПС* для управления вынужденным движением, описывается пример управления моделью конкретного объекта III, производится сравнение с идеальными и реальными линейными регуляторами. Алгоритм СПС* с присвоением начальных условий коммутируемым структурам вынесен, как частный результат, в приложение.

Глава 5 посвящена вопросам реализации предложенных алгоритмов и содержит (вместе с приложениями) описание пакетов программных модулей моделирования, НЦУ и супервизорного управления, а также примеры испытания СПС* в режиме НЦУ на цифровых моделях, цифро-аналоговом комплексе (ЦАК) и в производственных условиях. Дистинги модулей моделирования оформлены отдельным томом.

Введение. Постановка задачи.

XXV съезд КПСС определил повышение эффективности и качества ключевой задачей X пятилетки. Одним из необходимых условий выполнения этой задачи в III является совершенствование качества управления технологическими процессами. Обзор типовых процессов III, их экономико-математических моделей и динамических характеристик, анализ источников экономической эффективности разработанных АСР в III говорят о необходимости повышения точности управления многими процессами. Значительное число процессов III ведется с целью обеспечения производительности и качества вблизи критических границ, связанных с возможным пригаром стерилизуемых, варящихся и выпариваемых продуктов, разрушением витаминов и т.д. При этом многие объекты имеют "тяжелые" с точки зрения управляемости динамические характеристики: высокий порядок, большие запаздывания, переменный характер параметров и даже структуры. Примерами таких объектов могут служить различные теплообменники, конвекционные сушилки, сублимационные установки, коптильные установки, пневмотранспортные линии и т.д. Для качественно-го управления подобными объектами весьма актуально рассмотрение новых принципиальных решений на базе возможностей, предоставляемых современной техникой.

Одним из перспективных классов систем управления являются системы с переменной структурой (СПС). Теория СПС обобщает алгоритмы ряда нестандартных регуляторов, определяет способы использования предельных коэффициентов передачи и неустойчивых структур и предлагает принцип формирования искусственных вынужденных движений (скользящих режимов). Обзор применений СПС в различных отраслях говорит о том, что последний принцип, представляющий наибольший интерес, реализуется весьма редко. Для пояснения причин этого рассмотрим алгоритм данной СПС:

$$x_{n+1} + \sum_{i=1}^n a_i x_i = -b\psi, \quad (1)$$

$$\psi = \Psi x_1, \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \psi &= \alpha && \text{при } s x_1 > 0 \\ \psi &= \beta && \text{при } s x_1 < 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$s = \sum_{i=1}^n c_i x_i, \quad (4)$$

где x_1 - ошибка регулирования, $x_{i+1} = \frac{dx_i}{dt}$;
 a_i, b - параметры объекта ($a_i > 0, b > 0$);
 ψ, s - соответственно, функция управления и переключения;
 α, β, c_i - настроечные параметры СПС; $c_i > 0, c_n = 1$.

Если выполняются условия существования скользящего режима

$$\left. \begin{aligned} b\alpha &\gg -a_1 + c_1 a_n - c_1 c_{n-1} \\ b\beta &\leq -a_1 + c_1 a_n - c_1 c_{n-1} \\ c_{i-1} - a_i &= c_i (c_{n-1} - a_n) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

то скользящее движение СПС описывается уравнением:

$$s = \sum_{i=1}^n c_i x_i = 0. \quad (6)$$

Проблемы, связанные с реализацией алгоритма (2+4), обусловлены необходимостью многократного дифференцирования сигнала x_1 при формировании функции S (4), влиянием запаздывания и малых параметров объекта. Весьма проблематичным является выполнение жестких условий (5), не оставляющих необходимой свободы выбора настроек c_i для реализации требуемого движения (6).

В связи с вышеизложенным в работе были поставлены задачи:

1. Провести предварительные исследования по оценке возможностей рассматриваемых систем в условиях неполной информации.
2. Разработать и исследовать метод формирования поверхности переключения (скольжения) в СПС, работоспособный в условиях не-

точного описания и наличия запаздывания объекта при использовании минимальной информации в функции переключения.

3. Разработать на базе предложенного метода алгоритмы управления свободным и вынужденным движением объектов.

4. Испытать полученные алгоритмы на моделях объектов III в сравнении с исходным вариантом СПС, а также с идеальными и реальными стандартными линейными регуляторами.

5. Реализовать метод в виде пакетов программных модулей моделирования, НЦУ и супервизорного управления; испытать модули НЦУ на цифровых моделях и на ЦАК. Подготовить пакеты к использованию в отраслевом и Государственном фондах алгоритмов и программ, а также в отраслевом каталоге алгоритмических и программных модулей, разрабатываемом в III согласно научной проблеме (см. с.3). Опробовать метод в производственных условиях.

Косвенный метод формирования скользящего режима в СПС
Алгоритмы для управления свободным движением

Предварительные исследования АСР РУ в условиях случайных и скачкообразных возмущений при минимальной информации в функции переключения, в том числе, СПС с применением скользящего режима, говорят о перспективности совершенствования данного класса систем и полезности использования промежуточных координат в виде обратных связей при формировании скользящего движения.

Проинтегрируем уравнение (1):

$$x_n + \sum_{i=1}^{n-1} a_{i+1} x_i = - \int_0^t (b\psi + a_1 x_1) dt + C_0, \quad (7)$$

где $C_0 = x_n(0) + a_n x_{n-1}(0) + a_{n-1} x_{n-2}(0) + \dots + a_2 x_1(0)$.

Используя правую часть уравнения (7) в качестве функции переключения, можно согласно условиям (5) при $b\alpha \gg -a_1$ и $b\beta \leq -a_1$ сформировать следующую поверхность скольжения:

$$x_n + \sum_{i=1}^{n-1} a_{i+1} x_i = 0 \quad (8)$$

Важно, что при этом функция переключения использует вместо (n-1) дифференциаторов один интегратор с начальной константой:

$$s = - \int_0^t (\delta u + a_1 x_1) dt + C_0 \quad (9)$$

Знак константы C_0 определяет вид первоначальной структуры, а её величина - момент возникновения скользящего режима.

Способ формирования функции переключения (9) и получаемая при этом поверхность окользнения являются базовыми в рассматриваемых ниже вариантах СПС (далее обозначаемых СПС*).

При неточном задании константы C_0 ($C_1 = C_0 + \Delta C_0$) возникает остаточная ошибка ($-\frac{\Delta C_0}{a_2}$). Последняя компенсируется астатическими связями, которые возникают в СПС*, если коэффициенты при сигналах x_1 и u сделать отличными от a_1 и b (рис. 1а, рис. 1б):

$$s = - \int_0^t (k_1 x_1 + k_2 u) dt + C_1 \quad (10)$$

Для формирования требуемых динамических свойств допустимо использование нелинейной коррекции $F(x_j)$, где x_j - координаты системы, которые имеются возможность контролировать:

$$s = - \int_0^t (k_1 x_1 + k_2 u) dt + F(x_j) + C_1 \quad (11)$$

Рис. 1в иллюстрирует пример линейной коррекции $F(x_j) = k_3 x_1$.

Алгоритм СПС*(II) можно использовать для управления рядом периодических процессов, объектами в режиме пуска и позиционными системами при приближенно известных начальных условиях. При этом, как показывает моделирование для простого случая $F(x_j) = k_3 x_1$, по сравнению с ПИ-регулятором можно повысить быстродействие системы в 2+3 раза и снизить динамическую ошибку в 1,5+2 раза (результаты для случая аperiodических переходных процессов).

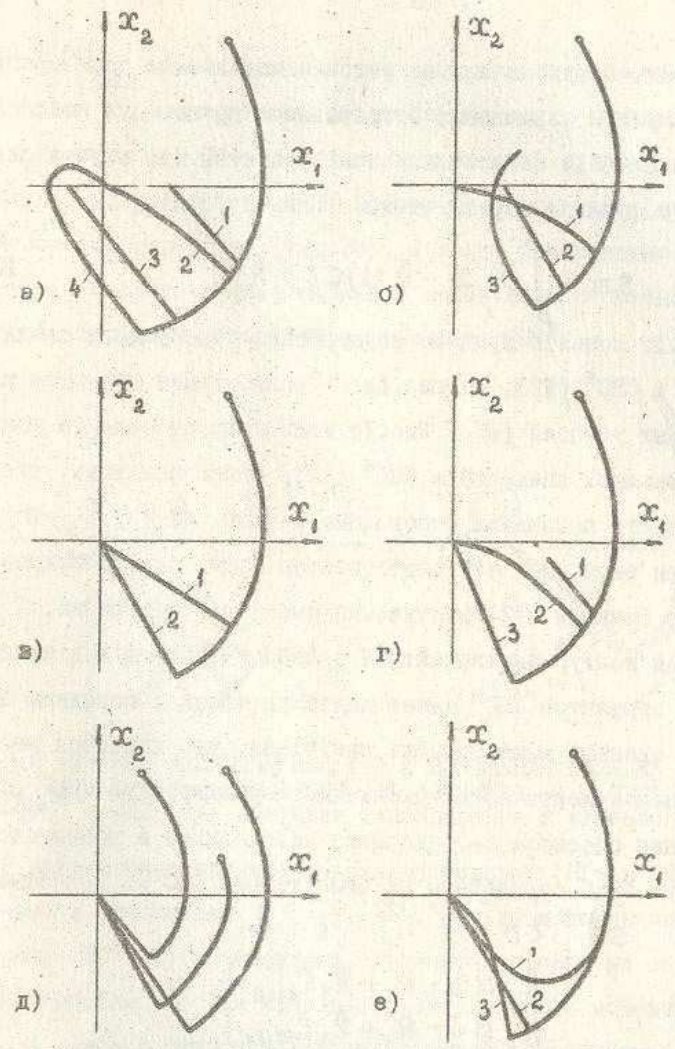


Рис. 1 ФАЗОВЫЕ ПОРТРЕТЫ СПС* ВТОРОГО ПОРЯДКА
 а) компенсация остаточной ошибки при $k_2 = b$; 1- $C_1 < C_0$, $k_1 = a_1$; 2- $C_1 < C_0$, $k_1 < a_1$; 3- $C_1 > C_0$, $k_1 = a_1$; 4- $C_1 > C_0$, $k_1 < a_1$;
 б) иллюстрация действия астатических обратных связей при $k_2 \neq b$; 1- $C_1 < C_0$, $k_1 = a_1$; 2- $k_2 > b$; 3- $k_2 < b$;
 в) линейная коррекция базовой линии скольжения при $C_1 = C_0$, $k_1 = a_1$, $k_2 = b$; 1- $k_3 = 0$, 2- $k_3 > 0$;
 г) формирование скользящего движения в СПС*(12), 1- $k_1 = a_1$, $k_2 = b$, $k_3 > 0$; 2- $k_1 < a_1$, $k_2 = b$, $k_3 > 0$; 3- $k_1 < a_1$, $k_2 < b$, $k_3 > 0$;
 д) иллюстрация влияния начальных условий в СПС*(12);
 е) иллюстрация скользящих движений в СПС*(12).

В случаях, когда начальные условия неизвестны даже приближенно, а также при управлении непрерывными процессами константа C , в алгоритме (II) не используется. При этом для случая линейной коррекции функция переключения принимает вид:

$$s = - \int_0^t (k_1 x_1 + k_2 u) dt + k_3 x_1. \quad (12)$$

На рис.1г показан процесс формирования требуемого скользящего режима в СПС* (12), на рис.1д - возникающее при этом влияние начальных условий (НУ). Рис.1е иллюстрирует большое разнообразие скользящих движений в СПС* (12). Можно показать, что для устойчивости последних необходимо, чтобы $k_1 < 0, k_2 > 0$ и $k_3 > 0$. При этом один из коэффициентов может быть фиксированным, так как функция (12) фактически имеет две настройки.

Основной контур эквивалентной релейной системы для приведенных выше вариантов СПС* имеет линейную часть с порядком знаменателя на единицу выше порядка числителя, что является необходимым условием существования скользящего режима. Для СПС* (12) при управлении объектом 2-го порядка необходимые и достаточные условия могут быть определены на базе теории СПС из известного соотношения $s \frac{ds}{dt} < 0$:

$$\left. \begin{aligned} k_2 \alpha &> -k_1 + k_3 C_{min} \\ k_2 \beta &< -k_1 + k_3 C_{max} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где C_{min}, C_{max} - крайние значения в общем случае переменной крутизны C линии скольжения в СПС* (12).

В случае управления объектами произвольного порядка с запаздыванием с помощью СПС*, использующей корректирующую функцию общего вида $F(x_j)$, соответствующие условия имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} |(\alpha k_2 + k_1) x_1| &> |\xi'(t)|_{max} \text{ при } \xi(t) \cdot \xi'(t) > 0 \\ |(\beta k_2 + k_1) x_1| &> |\xi'(t)|_{max} \text{ при } \xi(t) \cdot \xi'(t) < 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где $|\xi'(t)|_{max}$ - максимальное значение скорости изменения сигнала на выходе корректирующего блока, формирующего функцию $F(x_j)$.

Условия (13,14) объясняют возможность существования скользящего движения при наличии запаздывания объекта (рис.2а) и изменении его структуры (рис.2б), а также при независимом выборе настроек системы и разнообразной нелинейной коррекции для обеспечения требуемых динамических свойств СПС*.

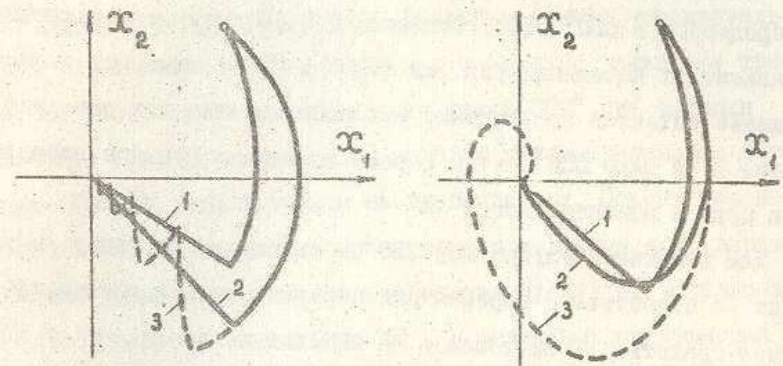


Рис.2 ВЛИЯНИЕ ЗАПАЗДЫВАНИЯ (а) И ИЗМЕНЕНИЯ ПОРЯДКА ОБЪЕКТА (б) 1-исходные эквивалентные СПС ($s = x_2 + C, x_1$) и СПС* (12) 2,3-СПС* и СПС (при введении запаздывания и изменении порядка)

Возникающее влияние начальных условий (НУ) в СПС* будем оценивать отношением $C = \frac{x_2(t_{ck})}{x_1(t_{ck})}$. При этом ограничимся рассмотрением СПС* (12) и объектами, движение которых на структуре с коэффициентом α из начального состояния до момента переключения t_{ck} может быть приближенно описано уравнением:

$$x_1 = A \cdot \cos(\omega t + \varphi).$$

При начальных условиях эквивалентного объекта $x_1(0)=0, x_2(0) \neq 0$

$$C = \frac{2\omega^2 k_3 (k_1 + k_2 \alpha)}{4\omega^2 k_3^2 - (k_1 + k_2 \alpha)^2}. \quad (15)$$

В более общем случае, когда $x_1(0) \neq 0$,

$$C = 2\omega v \frac{1 - \sqrt{1 - ZU}}{U^2 + ZU + 2\sqrt{1 - ZU} - 2}, \quad (16)$$

где

$$u = - \frac{\omega k_3}{k_1 + k_2 \alpha} \left(\frac{\rho}{\sqrt{1+\rho^2}} - 1 \right),$$

$$z = - \frac{\omega k_3}{k_1 + k_2 \alpha} \left(\frac{\rho}{\sqrt{1+\rho^2}} + 1 \right),$$

$$\rho = - \frac{1}{\omega} \cdot \frac{x_2(0)}{x_1(0)}.$$

Уравнения (15,16) можно использовать при анализе переходных процессов в СПС* (12). Согласно (15,16) момент переключения не зависит от начальных условий $x_2(0)$ и $x_1(0)$, если при этом их отношение остается постоянным. Это используется для снижения влияния НУ в ряде СПС* путем сброса интеграла функции переключения в ноль в моменты, когда $x_1 = 0$.

Для испытания алгоритмов СПС* в свободном движении выбран объект с существенно переменными параметрами - колёсное транспортное средство. Исследования на моделях показали, что в СПС с полной информацией в функциях управления и переключения и в СПС* при существенно более простом алгоритме управления получаются примерно адекватные результаты.

Алгоритмы СПС* для управления вынужденным движением

Если на входе объекта действует контролируемое возмущение $f(t)$, то формирование базовой поверхности (8) осуществляется с подачей сигнала $f(t)$ на интегратор блока расчёта S. Для получения требуемых динамических свойств базовая поверхность корректируется ранее рассмотренными способами. Сохранение скользящего режима в области начала координат возможно в данном случае с помощью предложенной в теории СПС коммутируемой обратной связи, охватывающей исполнительный механизм (ИМ).

Ниже рассматриваются случаи неконтролируемых возмущений.

1. ИМ - пропорциональное (либо инерционное) звено, функция управления не содержит интегрирующих звеньев. В этом случае требуемый астатизм может быть внесен в систему через функцию переключения:

$$s = - \int_0^t (k_1 x_1 + k_2 u) dt + k_3 x_1 + k_4 \int_0^t x_1 dt, \quad (17)$$

Меры по сохранению скользящего режима при этом приводят к управлению, эквивалентному ПИД-регулированию.

2. ИМ - интегрирующее звено. В данном случае дополнительные меры по обеспечению астатизма и скользящего режима не требуются. На рис.3 приведено сравнение такой СПС* при функции переключения (12) для управления моделью пневмотранспорта с регулятором РИМБ-Ш, используемым на пневмолиниях. Объект характерен существенно переменными параметрами и наличием ярко выраженной границы устойчивого транспортирования продукта. Моделирование производилось при идеальных ИМ для различных модификаций объекта, настройки выбирались для некоторой промежуточной модификации I. Результаты говорят о дополнительных возможностях СПС*.

3. СПС* с автономными настройками в функциях управления и переключения:

$$u = \psi_n x_1 + \int_0^t \psi_u x_1 dt, \quad (18)$$

$$s = |x_1| - \int_0^t \psi_s |x_1| dt - \Delta_1, \quad (19)$$

$$\left. \begin{matrix} \psi_n = \alpha_n \\ \psi_u = \alpha_u \\ \psi_s = \alpha \end{matrix} \right\} \text{ при } s > 0, \quad \left. \begin{matrix} \psi_n = \beta_n \\ \psi_u = \beta_u \\ \psi_s = \beta \end{matrix} \right\} \text{ при } s < 0, \quad (20)$$

$$\left. \begin{matrix} \psi_t = t & \text{при } |x_1| < \Delta_2 \\ \psi_t = t_i & \text{при } |x_1| > \Delta_2 \end{matrix} \right\}, \quad (21)$$

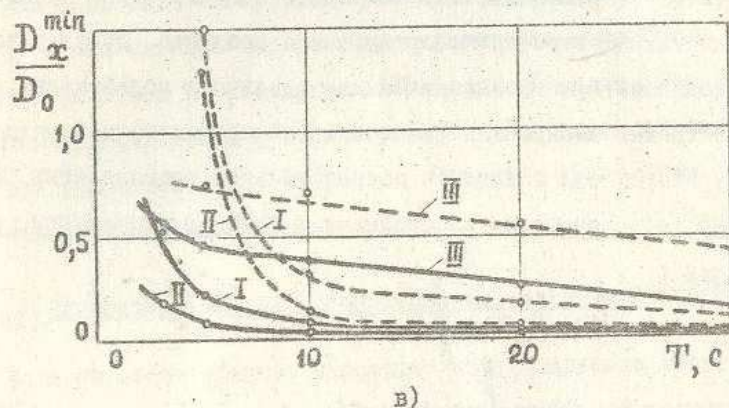
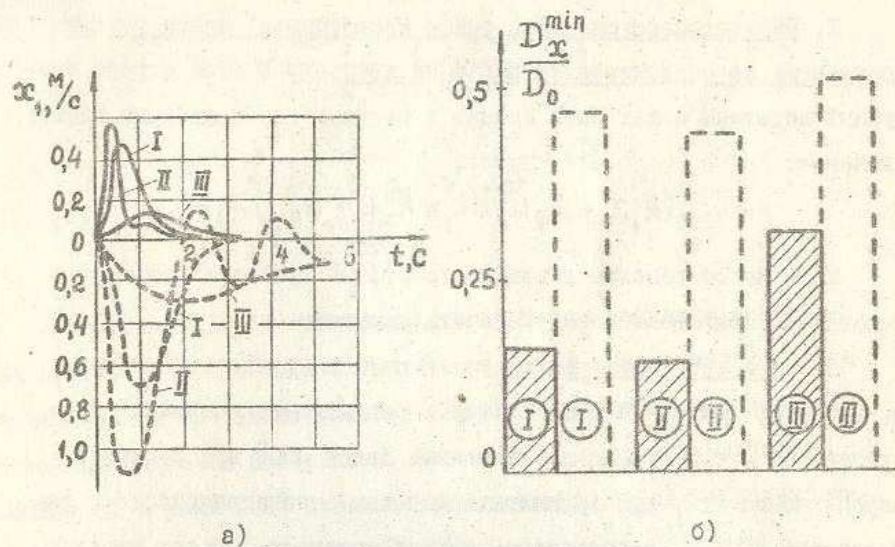


Рис.3 СПС* для стабилизации скорости воздуха в пневмотранспорте (СПС* - сплошные линии, АСР с РИИБ-Ш - пунктирные)

- а) переходные процессы при скачкообразных возмущениях;
- б) результаты исследований при случайных возмущениях, D_x^{min} - дисперсия ошибки x_1 , обеспечиваемая регулятором, D_0 - дисперсия ошибки x_1 в системе без регулятора;
- в) результаты исследований при сочетании гармонических возмущений и случайных помех, T - период гармонического возмущения.

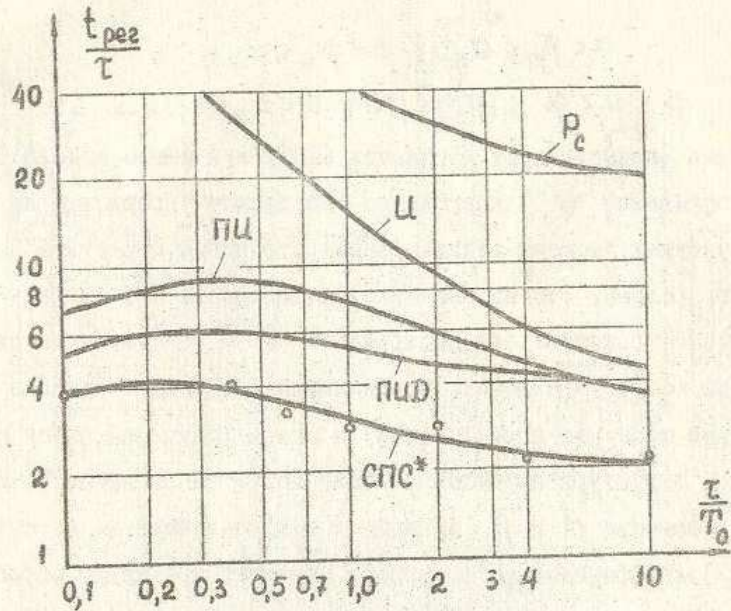
$$0 < \beta_n < \alpha_n; \quad 0 < \beta_u < \alpha_u; \quad (22)$$

$$\beta < 0 < \alpha; \quad |\beta| \ll |\alpha|; \quad 0 < \Delta_2 < \Delta_1$$

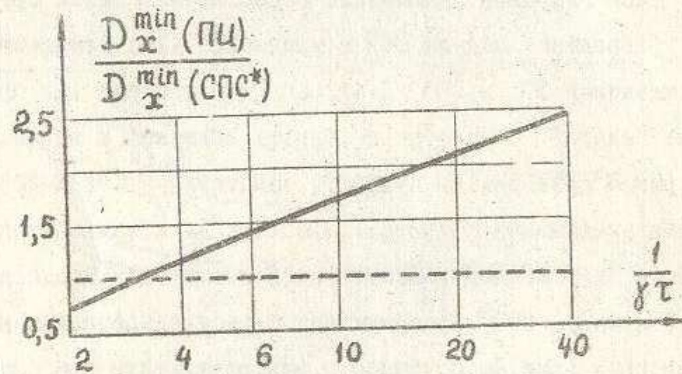
В ранее рассмотренных вариантах СПС*, как и в исходной СПС (I+4), коэффициент ψ одновременно определяет управление на обеих структурах, момент возникновения и условия существования скользящего режима. Это ограничивает возможности СПС. В данном случае за счёт автономности настроек S и U достигается свобода выбора обоих управлений, организация скользящего режима (либо режима конечных переключений) с целью получения новой эквивалентной структуры на любом участке переходного процесса, задаваемом с помощью α и β . Функция S (I9) получена на базе уравнения (I2); коэффициент ψ_t формально отражает процедуру сброса интеграла (I9) в ноль при $|x_1| < \Delta_2, t_1$ - моменты выхода $|x_1|$ из зоны Δ_2 (при цифровой реализации сброс производится при смене знака x_1). Введение модуля $|x_1|$ в уравнение (I9) заменяет операцию перемножения Sx_1 в СПС (I+4). Зона Δ_1 введена для предпочтения более "слабой" структуре в области, близкой к заданию.

На рис.4 приведены результаты испытания СПС*(I8-22) на АВМ для случая управления объектом I-го порядка с запаздыванием τ (результаты для типовых законов взяты из методик Института Проблем Управления). СПС* обеспечивает существенное повышение быстродействия (рис.4а) и точности (см. результаты при случайных возмущениях на рис.4б, где использовались настройки рис.4а).

4. СПС* с присвоением начальных условий коммутирваемым управлением. Вопрос задания НУ является естественным для СПС, использующих интеграторы в составе функции управления, и приводит к дополнительным возможностям системы. Хотя скользкий режим в данном случае не применяется, функция переключения СПС*(I9) оказывается более предпочтительной по сравнению с $S = x_2 + c_1 x_1$, так как последняя может вызвать режимы неустойчивых переключений.



а)



б)

Рис. 4 СПС*(18+22) ПРИ СКАЧКООБРАЗНЫХ И СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

(τ, T_0 - запаздывание и постоянная времени объекта)

а) длительность аperiodических переходных процессов t_{peg} при скачкообразных возмущениях;

б) относительный выигрыш СПС* по сравнению с ПИ-регулятором при случайных возмущениях для случая $\tau/T_0 = 1$,

$D_x(СПС^*)$ - дисперсия ошибки в СПС*;

$D_x(ПЦ)$ - дисперсия ошибки в АСР с ПИ-регулятором,

γ - коэффициент спада автокорреляционной функции возмущения.

Вопросы реализации метода построения СПС*

Важнейшей задачей научной проблемы (см. с. 3) является разработка каталогов алгоритмических и программных модулей сбора и обработки информации, моделирования и управления в отраслях промышленности. Решение этой задачи позволит эффективно распространять и внедрять разрабатываемые методы, комплексы алгоритмы и программы из готовых блоков, и заложить основу для систем автоматизированного генерирования программного обеспечения.

Метод реализован в виде пакетов программных модулей моделирования АСР РУ (ФОРТРАН-IV ЕС ЭВМ), НЦУ и супервизорного управления (ФОРТРАН-II, МНМОКОД М-6СГО АСВТ-М). Пакет модулей моделирования АСР РУ включает 27 модулей (для моделирования динамических звеньев, запаздывания, типовых нелинейностей, модуляции сигналов, вероятностного исследования, оценки функциональной надёжности, цифрового и графического отображения информации и т.д.), перекрывающих область возможных моделей АСР в ПИ. На базе пакета реализовано несколько макромоделей моделирования для расчёта, анализа и исследования СПС*, а также ряда других создаваемых СПС и АСР РУ. Пакет неоднократно применялся при моделировании СПС, релейных и линейных АСР в ПИ и принят в отраслевой и Государственный фонды, а также в отраслевой каталог.

Программные модули НЦУ реализуют алгоритм (18+22) и ориентированы на многоканальное управление и применение пропорционального либо интегрирующего ИМ. Заданием параметров модуля можно, как частный случай, получить цифровой ПИ-регулятор.

Алгоритм (18+22) может быть реализован также в виде простой аналоговой приставки к стандартным регуляторам типа РИ-2, РИИВ-III и др., коммутирующей в качестве коэффициентов $\alpha_n, \alpha_u, \beta_n$ и β_u соответствующие выносные сопротивления. Этот же принцип заложен в супервизорном управлении, при этом коммутация

е-6-13130 v 013130

осуществляется модулями позиционного управления (МПУ) М-6000.

Испытание модулей НЦУ на цифровых моделях М-6000 и ЦАК показало их работоспособность и дополнительные возможности алгоритма СПС* по сравнению с типовыми линейными при цифровой реализации. На рис.5 приведен пример испытания СПС*(18+22) на ЦАК. Объект управления и ИМ моделировались на АВМ, закон управления с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) сигналов управления реализован на М-6000, как задача супервизора реального времени.

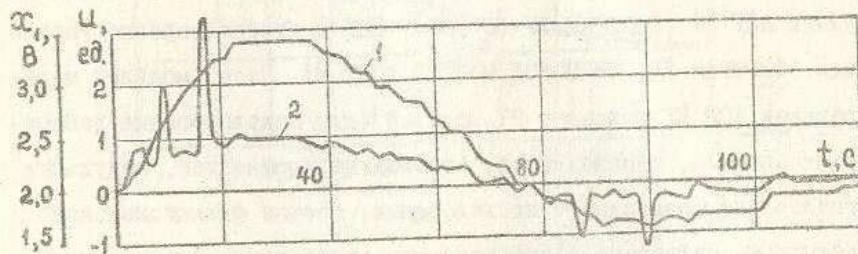


Рис.5 ПРИМЕР ИСПЫТАНИЯ АЛГОРИТМА СПС* В РЕЖИМЕ НЦУ НА ЦАК
1-регулируемая величина X, на выходе АЦП М-6000
2-сигнал управления U после ШИМ

Соответствующие алгоритмические и программные модули СПС* вошли в отраслевой каталог и в состав создаваемой системы НЦУ соковым потоком для АСУ ТП на Ракитнянском сахарном заводе.

СПС*(18+22) испытана в системе цифрового регулирования динамической вязкости полимеризата на Ефремовском заводе синтетического каучука. Отмечено, что СПС* обеспечивает более высокое качество регулирования по сравнению с типовыми системами.

Основные выводы и результаты

1. Предложен метод формирования поверхности переключения (скольжения) в СПС с использованием минимальной информации о размерности и параметрах объекта. Движение по данной поверхности возможно при неточном описании и наличии запаздывания объекта,

при независимом выборе настроек и нелинейной коррекции для обеспечения требуемых динамических свойств системы. Получены аналитические зависимости, позволяющие оценить влияние начальных условий, и предложены способы его снижения.

2. На базе предложенного метода разработаны алгоритмы СПС* для управления объектами в свободном и вынужденном движении. Сравнение СПС* на моделях объектов ТП с исходным вариантом СПС, а также с идеальными и реальными типовыми линейными регуляторами говорит о существенных дополнительных возможностях СПС*. Алгоритмы СПС* могут быть использованы при управлении позиционными и непрерывными системами, а также рядом периодических процессов в пищевой и других отраслях промышленности.

3. Приведены схемы реализации основных алгоритмов СПС* на аналоговых элементах, позволяющих, в частности, реализовать алгоритм СПС* в виде приставки к общепромышленным регуляторам.

4. Разработан пакет программных модулей моделирования АСР РУ применительно к ЕС ЭВМ, на базе которого сформировано ряд макромодулей для расчета, анализа и исследования СПС* и ряда других создаваемых СПС и АСР РУ. Пакет неоднократно применялся при моделировании различных АСР в ТП, включен в отраслевой каталог, а также в отраслевой и Государственный фонды и может быть использован в других отраслях промышленности.

5. Алгоритм СПС* с автономными настройками реализован в виде программных модулей НЦУ и супервизорного управления применительно М-6000. Испытание на цифровых моделях М-6000 и на цифро-аналоговом комплексе, сработка в производственных условиях подтвердили работоспособность модулей НЦУ и дополнительные возможности СПС*. Модули СПС* приняты в отраслевой каталог, включены в состав разрабатываемой системы НЦУ для АСУ ТП на Ракитнянском свеклосахарном заводе и могут применяться в других отраслях.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Аксененко В.С., Долгозвят В.А. Регулятор переменной структуры без дифференциаторов. "Изв. вузов СССР. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ", 1974, №1.
2. Аксененко В.С., Долгозвят В.А. Об одном классе систем с переменной структурой (СПС). "Изв. вузов. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА", 1974, №11.
3. Аксененко В.С., Долгозвят В.А. Косвенный метод формирования скользящего режима в системах с переменной структурой (СПС). Рефераты докладов VI Всесоюзного совещания по проблемам управления, секция "Теория систем управления", М., "Наука", 1974.
4. Аксененко В.С., Долгозвят В.А. Косвенный метод формирования скользящего режима в системах с переменной структурой (СПС). Абстракты VI Всемирного конгресса ИФАК (на русском, англ., фр. и нем. языках), Питтсбург, Пенсильвания 15222, США, 1975.
5. Akseenenko V.S., Dolgozviag V.A. Indirect method of sliding regime forming in variable structure systems (VSS). Proceedings of the 6TH WORLD CONGRESS. BOSTON/Cambridge, Massachusetts, USA, August 24-30, 1975, Part I, paper 22.5. A Publication of the IFAC. Distributed by the Instrument Society of America, Pittsburgh, Pennsylvania 15222 U.S.A. Copyright 1975.
6. Аксененко В.С., Долгозвят В.А., Бундюк А.Н. Об условиях существования скользящего режима и его нелинейной коррекции в системах переменной структуры (СПС). Сб. "Синтез элементов и систем автоматики на базе ЭВМ", Киев, 1976.
7. Аксененко В.С. Синтез системы с переменной структурой (СПС) при неконтролируемых внешних возмущениях. Труды ин-та "Пищепром-автоматика", вып. I4, Одесса, 1975.
8. Аксененко В.С., Долгозвят В.А. Адаптивные свойства систем с переменной структурой с косвенным способом формирования гиперплоскости скольжения. Сб. "Адаптивные системы автоматического управления", Киев, Изд-во "Техника", 1975.

9. Аксененко В.С., Долгозвят В.А. Косвенные способы формирования скользящего режима в системах с переменной структурой (СПС). Сб. "Кибернетика и автоматическое управление", Киев, 1974.
10. Долгозвят В.А., Хобин В.А., Аксененко В.С. Переходные и установившиеся режимы в СПС с неидеальностями. Сб. "Кибернетика и автоматическое управление", Киев, 1973.
11. Аксененко В.С., Редунов Г.М. Об алгоритмических и программных модулях моделирования автоматических систем регулирования с разрывным управлением (АСР РУ). Сб. научных трудов ин-та "Пищепроматоматика", вып. I5, Одесса, 1976.
12. Аксененко В.С., Редунов Г.М., Грехова Л.И. К вопросу цифрового моделирования систем автоматического управления (САУ). Труды ин-та "Пищепроматоматика", вып. I4, Одесса, 1975.
13. Шейнберг О.М., Аксененко В.С., Шифрин Я.В., Клебанер Т.М., Подкамінер Г.М. Дослідження динамічних режимів роботи стерилізатора для молока. "Харчова промисловість", 1975, №1.
14. Городецкий А.Э., Аксененко В.С., Фишман А.Н. Динамика процессов регулирования зерносушилки ДСП-24 в САР с применением вычислительной машины. Сб. "Автоматизация производственных процессов на предприятиях по хранению и переработке зерна", ЦИТИ Госкомзага СССР, М., 1967.
15. Унгур К.М., Аксененко В.С. Автоматическое регулирование степени увлажнения зерна на мукомольных предприятиях. Сб. "Автоматизация производственных процессов на предприятиях по хранению и переработке зерна", ЦИТИ Госкомзага СССР, 1967.
16. Аксененко В.С., Грехова Л.И., Паулин О.Н. К выбору настроек двухпозиционной САР, подверженной случайным воздействиям "Изв. вузов СССР. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ", 1973, №3.
17. Аксененко В.С. Основные направления применения аналоговых вычислительных машин (АВМ) при создании систем автоматизации технологических процессов пищевой промышленности. Труды ин-та

"Пищепромавтоматика", вып.12-13, Одесса, 1974.

18. Долгозвяг В.А., Хобин В.А., Лузин И.В., Аксененко В.С. Прогнозирование в системах с переменной структурой как средство оптимизации их при управлении объектами с запаздыванием. Тезисы Республиканской научно-технической конференции "Организация работы ВЦ в условиях функционирования АСУ", УкрНИИНТИ, Киев, 1972.

19. Аксененко В.С., Сергиевский П.К. Регулятор переменной структуры с коммутацией коэффициентов в функции переключения. Информационный листок № 27-77, Серия 19А-11, ЦНИИТЭИПИЩЕПРОМ, М., 1977.

20. Аксененко В.С., Долгозвяг В.А. Регулятор переменной структуры для управления производственными и технологическими процессами периодического действия. Информационный листок Серия 2, УкрНИИНТИ Госплана УССР, ОЦНТИ, Одесса, 1972.

21. Аксененко В.С., Сатановский В.Р., Заболотный П.В. Возможности и перспективы цифро-аналогового моделирования при создании АСУ ТП. Сб. научных трудов ин-та "Пищепромавтоматика", вып.16, Одесса, 1977.

Основные результаты работы докладывались: на VI Всемирном конгрессе ИФАК, секция "Оптимальные и нелинейные системы" (август 1975, г.Бостон, США); на VI Всесоюзном совещании по проблемам управления, секция "Теория систем управления" (октябрь 1974, г.Москва); на Республиканской научно-технической конференции "Организация работы ВЦ в условиях функционирования АСУ" (сентябрь 1972, г.Севастополь); на семинарах "Кибернетика и автоматическое управление" (три доклада: в 1972, 1974 и 1976 гг., г.Одесса); на семинаре "Автоматическое управление технологическими процессами бродильных производств" НПО "Пищепромавтоматика" (февраль 1977, г.Одесса); на XIIУ научной конференции ОТИП им. М.В.Ломоносова (апрель 1974, г.Одесса).

БР 09003 Подп. к печати 28.03.78 г. Формат 60 x 84 1/16
Объем I п.л. Заказ № 1268. Тираж 130 экз.
Гортипোগрафия Одесского облполиграфиздата, цех № 3.
Ленина, 49