

М 498231

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени государственный технический
университет им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

УДК 621.865.8-529

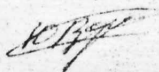
ВОРОНИН Юрий Юрьевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ С МОДЕЛЮ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ РОБОТАМИ

Специальность 06.02.06. Роботы, манипуляторы и робототехнические
системы

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук



Москва - 1991

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ЮЩЕНКО А.С.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор

ПЯТНИЦКИЙ Е.С.

Кандидат технических наук, доцент

ИВАНОВ В.А.

Ведущее предприятие: НПО ВНИИстройдормаш

Защита диссертации состоится "21" октября 1991г. на заседании Специализированного Совета К 053.15.06 Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственного технического университета им. Н.Э.

Баумана в библиотеке МГТУ им.

____ 1991г.

____го Совета

МАКСИМОВ А.И.

Заказ №226

Тираж 100 экз.

л.

М 498231

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Внедрение манипуляционных роботов в точные технологические процессы и расширение сферы их применения предъявляет высокие требования к их производительности, что связано с необходимостью увеличения скоростей и ускорений движения. В этих условиях становятся существенными динамические эффекты со стороны многозвенного исполнительного механизма манипулятора, такие как взаимовлияние движений по степеням подвижности, переменность нагрузки приводов влечет изменение конфигурации и массы груза, которые могут привести к значительному снижению точности движений робота.

В связи с этим является актуальной рассматриваемая в диссертации проблема построения системы управления манипулятором, позволяющей существенно снизить влияние указанных динамических факторов на характеристики процесса управления. Решение этой задачи прежде всего требуется для быстрого выполнения точных контурных операций манипулятором, к которым относятся сварка, окраска распылением, резка и обработка материалов с помощью лазера, обследование детали по контуру с целью выявления дефектов и т.д. Указанная проблема приобретает особую важность в связи с наметившимся применением манипуляторов с непосредственным (безредукторным) приводом, для которых динамические эффекты со стороны исполнительного механизма проявляются в усиленном виде.

К настоящему времени предложены различные способы построения систем для управления манипуляторами с учётом динамики исполнительного механизма. Среди них – использующие методы адаптивного управления, в том числе сигнальную самонастройку. Однако получаемые системы имеют ряд недостатков, которые сдерживают их практическое применение.

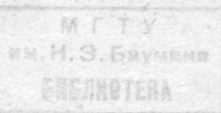
Цель работы. В диссертационной работе рассматриваются вопросы построения исполнительной системы управления манипулятором с сигнальной самонастройкой, позволяющей обеспечить близкое к заданному качество управления и за счёт этого увеличить точность и скорость выполнения контурных операций. Целью работы

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1498231

Воронин Ю. Ю. Разработка и и



является разработка такой системы и методики её построения. Система должна обладать необходимыми для практического применения качествами: относительной простотой в реализации и сравнительно невысокими потерями мощности приводов.

Методика исследования. В работе использовались методы теории автоматического управления, в том числе теории адаптивных систем, теории систем с переменной структурой, а также методы цифрового управления, имитационного моделирования, теоретического и экспериментального исследования манипуляционных систем.

Научная новизна работы состоит в построении системы с сигнальной настройкой, обеспечивающей требуемое качество управления для нелинейной модели манипулятора и обладающей приемлемыми энергетическими характеристиками, а также относительной простотой в реализации. При этом

- предложен метод формирования сигнала самонастройки с нелинейной интегральной составляющей, позволяющий осуществлять процесс самонастройки с малыми амплитудами разрывных составляющих управления, стремящимися к нулю при приближении к положению равновесия;
- проведен анализ устойчивости системы по ошибке относительно модели и получены условия устойчивости, при выполнении которых система выходит на заданный режим за конечное время;
- разработаны методика построения системы и аналитические методы оценки её характеристик.

Практическая ценность. Применение разработанной системы для управления манипуляторами позволяет поднять эффективность их использования при выполнении точных контурных операций. Система практически реализована для промышленного робота.

Внедрение работы. Материалы диссертации использовались и результаты работы внедрены в НИО "ВНИИстройдормаш" при разработке и реализации цифровой системы управления манипулятором РБ-211, в Институте горного дела им. А.А.Скочинского при разработке системы управления специализированным роботом, предназначенным для использования в шахте.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзной конференции "Динамическое моделирование сложных систем" (г.Гродно, 1987), на советско-югославском симпозиуме по робототехнике (г.Ленинград, 1989), на семинарах в Научно-учебном центре "Робототехника" (г.Москва).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 работ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка и приложения. Содержит 149 страниц машинописного текста, 32 рисунка на 24 страницах, список литературы из 71 наименований на 7 страницах, приложение на 26 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность проблемы, рассматриваемой в работе, сделан обзор и краткий анализ известных подходов к управлению движением манипулятора, сформулированы цель и задачи работы.

В обзоре указаны известные подходы к задаче управления движением манипулятора с учётом динамики исполнительного механизма, которые используют при синтезе управления методы оптимизации, линеаризации, нелинейной компенсации и адаптации (самонастройки). Кратко рассмотрены достоинства и недостатки каждого из подходов. Отмечена перспективность использования принципа сигнальной самонастройки по модели, однако получаемые системы оказываются, как правило, энергетически невыгодными из-за применения разрывных управляющих сигналов достаточно большой амплитуды. В то же время такие системы обладают рядом несомненных преимуществ: они просты и не требуют точной информации о параметрах манипулятора, получение которой часто затруднительно.

Первая глава посвящена теоретической разработке метода управления манипуляторами с сигнальной настройкой по модели, в ней обосновываются основные подходы к построению предлагаемой системы управления.

Для синтеза управления использована нелинейная модель манипулятора с произвольным числом степеней подвижности, включающая нелинейные уравнения динамики исполнительного механизма

$$A(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q}) + G(q) = \mu \quad (1)$$

и линейные уравнения приводов

$$J\ddot{q} + \mu = M, \quad T_e \dot{M} + M = Su - N\dot{q}, \quad (2)$$

в которых на этом этапе пренебрегается малыми постоянными времени T_{ei} ($T_e = \text{diag}\{T_{ei}\}$), характеризующими инерционность изменения их моментов. Здесь q — обобщённые координаты манипулятора, μ — моменты нагрузки приводов со стороны исполнительного механизма, u — управляющие сигналы на приводы, M — моменты приводов, $A(q)$ — матрица инерции манипулятора $n \times n$, $B(q, \dot{q})$ — моменты скоростных сил, G — внешние (гравитационные) моменты, J , T_e , S , N — диагональные матрицы $n \times n$ параметров приводов, n — число степеней подвижности манипулятора. Показано, что выбранная модель годится для широкого класса электромеханических и электрогидравлических манипуляторов.

Далее рассматривается общая структура предлагаемой системы управления. Система разделится на два уровня регулирования по положению и скорости с введением сигнальной самонастройки по эталонной модели на нижнем уровне (рис. 4).

Цель самонастройки — поддерживать нулевой ошибку относительно эталонной модели при управлении манипулятором. Если она достигается, то динамика всей системы определяется уравнениями желаемой модели, которая выбирается в соответствии с требованиями к качеству процесса управления и соответствует регулятору положения на верхнем уровне регулирования и эталонной модели на нижнем. Такая структура системы позволяет обеспечить простоту перестройки желаемой модели в зависимости от типа выполняемых манипулятором операций без изменения параметров блока самонастройки.

Сигнал управления на приводы манипулятора

$$u = Dk_v(u_d(z, q, t) - v) + N_0 v + d \quad (3)$$

состоит из линейной составляющей и дополнительного сигнала самонастройки d . Здесь z — входной сигнал, $u_d(z, q, t)$ — сигнал,

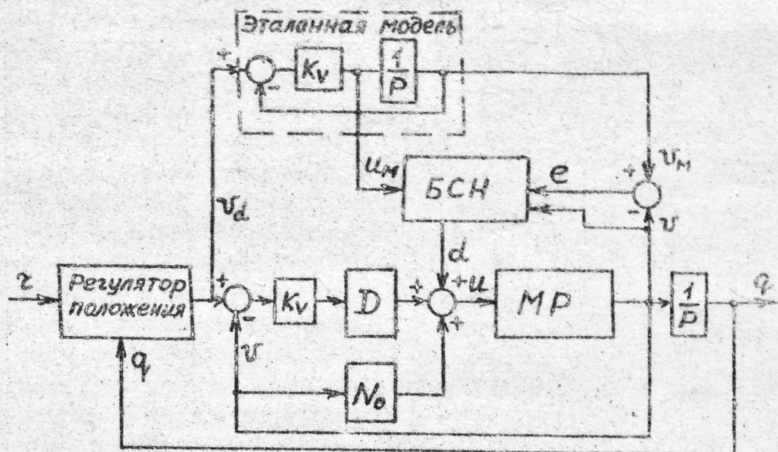


Рис. 1. Структурная схема самонастраивающейся системы управления. МР - манипуляционный робот. БСН - блок самонастройки.

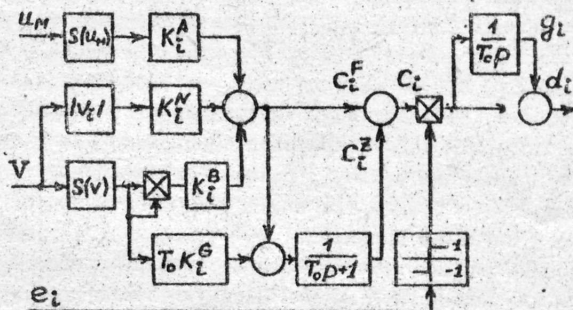


Рис. 2. Структурная схема блока самонастройки (i-тый канал).

формируемый регулятором положения, $\dot{q}$ - измеряемые скорости степеней подвижности манипулятора (в идеальном случае $\dot{q} = \dot{q}_d$), D - матрица $n \times n$ с постоянными коэффициентами, $N_0 \approx S^{-1}N$, K_v - постоянный параметр. Местная эталонная модель на нижнем уровне управления имеет вид:

$$\ddot{u}_m = K_v(\dot{u}_d(z, q, t) - \dot{u}_m). \quad (4)$$

Линейная составляющая ($d=0$) выбрана таким образом, что обеспечивает желаемое качество управления для упрощенной линейной модели манипулятора, не учитывающей переменность матрицы инерции $A(q)$, наличие моментов скоростных сил и гравитационных моментов. Благодаря самонастройке ($d \neq 0$) это достигается и для рассмотренной нелинейной модели манипулятора.

Сигнал самонастройки $d = [d_1, d_2, \dots, d_n]^T$ предложено формировать в виде (рис. 2):

$$\begin{aligned} d_i &= c_i(t) \operatorname{sign} e_i + \frac{1}{T_0} \int_0^t c_i(t) \operatorname{sign} e_i dt, \\ c_i(t) &= c_i^F(u_m, v) + c_i^S(t), \\ c_i^F(u_m, v) &= K_A^F S(u_m) + K_V^F S^2(v) + K_N^F |v|, \\ T_0 \dot{c}_i^S + c_i^S &= c_i^F(u_m, v) + T_0 K_G^S S(v), \quad i=1, \dots, n. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $e = u_m - v$ - ошибка относительно модели, $u_m = \ddot{u}_m$ - ускорение эталонной модели, $T_0, K_A^F, K_V^F, K_G^S, K_N^F$ - постоянные параметры блока самонастройки. Используется обозначение:

$S(x) = \sum_{i=1}^n |x_i|$. Особенности такого подхода являются введение нелинейной интегральной составляющей в сигнал самонастройки для компенсации гравитационных моментов и регулировка амплитуд $c_i(t)$ разрывных составляющих сигнала в зависимости от состояния системы. Это позволяет осуществлять управление с малыми амплитудами c_i , стремящимися к нулю при приближении к положению равновесия, что даёт возможность сделать невысокими дополнительные потери мощности приводов. Последнее важно для практического применения системы. Возможно также осуществлять компенсацию моментов сухого трения, если добавить постоянные составляющие к сигналам амплитуд.

Проведён анализ устойчивости системы по ошибке относительно модели для нелинейной модели манипулятора с использованием метода Ляпунова. При этом не применялась гипотеза квазистационарности параметров объекта управления, которая обычно ограничивает работоспособность самонастраивающихся систем.

В результате получены условия устойчивости, при выполнении которых система выходит на эталонный режим за конечное время. Из-за наличия интегральной составляющей сигнала самонастройки такая сходимости имеет место, если отклонение относительно модели ограничено некоторой величиной. Условия устойчивости сведены к неравенствам для выбора параметров блока самонастройки. Показано, что ошибки в оценке параметров манипулятора могут быть компенсированы за счёт некоторого увеличения коэффициентов блока самонастройки.

Для предложенного закона управления с самонастройкой дана оценка объёма вычислений: при управлении n -степенным манипулятором требуется выполнять $10n+1$ операций умножения и $18n-2$ операций сложения. Результаты оценки представлены в сравнении с известным "методом вычисляемых моментов" и показано значительное снижение объёма вычислений при управлении манипулятором с самонастройкой: при $n=6$ в 5-7 раз.

В этой главе также предложены варианты модификации самонастраивающейся системы, позволяющие при некоторых ограничениях придать ей дополнительные возможности. Один вариант: закон управления (3) принимает вид

$$u = D[k_v(v_d(z, q, t) - v) + d] + N_0 v. \quad (6)$$

Как показывается в работе дальше, это даёт возможность улучшить характеристики системы при сильном взаимовлиянии каналов управления. Однако тогда на выбор матрицы D накладывается дополнительное условие, не всегда выполнимое. Другой вариант: изменяется структура системы с целью снять ограничения на структуру желаемой модели — это модификация для желаемой модели общего вида.

Далее проводится исследование точностных характеристик контурного управления манипуляторами. Показано аналитически, что применение самонастраивающейся системы позволяет, несмотря на наличие ошибок положения степеней подвижности, ликвидировать ошибку положения рабочего органа перпендикулярно траектории за счёт выравнивания динамических характеристик каналов управления. При этом использование сигналов скорости и ускорения, заданных для траектории манипулятора, позволяет устранить и

абсолютную ошибку отслеживания траектории в эталонном режиме.

Во второй главе выполнено аналитическое исследование системы для уточненной модели манипулятора. При этом преследовалась цель выяснить как влияет на работу системы наличие дополнительных малых инерционностей приводов, датчиков и других элементов, которые не учитывались в модели манипулятора, использованной при синтезе управления. Параллельно разрабатывались методы оценки характеристик системы.

При учёте указанных дополнительных неидеальностей в контуре самонастройки имеет место высокочастотный автоколебательный процесс, заменяющий идеальный скользящий режим. Для анализа устойчивости системы в целом для равновесного состояния искались условия наличия автоколебаний в контуре самонастройки при добавлении постоянных составляющих $c_i^0 > 0$ в амплитудные сигналы $c_i(t)$. При этом использовался метод гармонической линеаризации для нелинейностей в каждом канале типа *sign*, умножения сигналов и сумм модулей. Обосновано, что при наличии одного типа двигателей и датчиков скорости в каждом канале системы автоколебания в контуре самонастройки близки к одночастотным, причём интегральная составляющая сигнала самонастройки обеспечивает их симметричность в установившемся состоянии:

$$e_i = a_i \sin(\omega_a t + \varphi_i), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Для общего случая n -степенного манипулятора получены уравнение для частоты ω_a и система нелинейных уравнений для амплитуд a_i и фаз φ_i колебаний в разных каналах. Из уравнений показано, что частота колебаний постоянна и определяется параметрами дополнительно учтённых инерционностей элементов в контуре самонастройки. В случае учёта только постоянных времени приводов T_e , характеризующих инерционность изменения их моментов, и постоянных времени датчиков скорости τ частоте

$$\omega_a = \sqrt{\frac{1}{T_e \tau}}.$$

Её величина ограничивается в основном инерционностью датчиков скорости. Однако за счёт введения коррекции сигнала ошибки относительно модели с помощью звена с передаточной функцией

$$W_k(p) = \frac{T_2 p + 1}{T_1 p + 1} \quad (T_2 > T_1) \quad (7)$$

возможно увеличить получаемую в контуре самонастройки частоту колебаний в несколько раз.

Далее рассматривается практически важный случай двухканальной самонастраивающейся системы. Для него решены полученные ранее общие уравнения и найдены параметры автоколебаний в контуре самонастройки, исследована их устойчивость. Условия устойчивости системы сведены к требованию положительной определенности матрицы $H(q, \omega)$ размерности 2×2 , коэффициенты которой зависят также от параметров блока самонастройки и желаемой модели системы.

Полученные соотношения использованы для исследования характеристик самонастраивающейся системы на примере базового двухстепенного механизма манипулятора РВ-2II. Параллельно проводится сравнение основного варианта построения системы (вариант 1) и модифицированного с желаемой моделью общего вида (вариант 2).

Выполнен анализ ограничений на параметры желаемой модели из условий устойчивости системы. При номинальной частоте колебаний в контуре самонастройки, получаемой без введения коррекции, предельное быстродействие для варианта 1 системы оказывается в 4 раза выше, чем для варианта 2, и возрастает с увеличением частоты.

Разработана методика оценки амплитуды вибраций конечной точки манипулятора при его движении. Расчёт по ней дал: при типовых для рассматриваемого манипулятора параметрах движения (с ускорением) амплитуда составляет 0.07 мм и резко убывает с ростом частоты, как показывает полученная зависимость.

Также выполнена оценка предельных возможностей системы по самонастройке при существенно переменных моментах инерции нагрузки приводов. При этом фиксировались все параметры системы, кроме моментов инерции нагрузки приводов и коэффициентов блока самонастройки, определяющих допустимый диапазон их изменения. В результате получено: без дополнительного увеличения частоты колебаний (за счёт введения коррекции) самонастройка может обеспечить работу системы в близком к эталонному режиме при изменении моментов инерции нагрузки приводов до 70 раз для варианта 1 (основного) и до 30 раз для варианта 2 построения системы при быстродействии системы до 0.4 с, причём эти величины возрастают примерно пропорционально увеличению заданной

инерционности желаемой модели.

Из полученных результатов исследования сделан вывод, что и для уточнённой модели манипулятора предложенная система имеет достаточно хорошие характеристики, причём для варианта 2 (модификации с желаемой моделью общего вида) они хуже. При использовании дополнительной коррекции в контуре самонастройки возможности системы ещё более увеличиваются.

Третья глава посвящена исследованию системы с использованием методов моделирования и разработке методики построения системы.

При моделировании рассматривалась самонастраивающаяся система для базового трехстепенного механизма манипулятора РВ-2II с целью выбора работоспособного варианта для последующей реализации на этом манипуляторе. Использовался разработанный автором комплекс программ моделирования, специально ориентированный на исследование самонастраивающейся системы управления манипулятором с учётом динамики приводов, дискретности управления и запаздывания, вносимого цифровой управляющей системой.

Как показало исследование переходных процессов системы по положению степеней подвижности, введение самонастройки позволяет сделать их показатели качества практически независимыми от текущей конфигурации манипулятора и веса переносимого груза (в пределах максимального), фактически устранить взаимовлияние между движениями степеней подвижности. При сравнении предложенных вариантов построения системы выявлено, что наибольшее быстроедействие позволяет получить модификация системы с законом управления (6). Этот вариант системы и использовался в дальнейшем. Кроме того, показано, что зависимость предельного быстроедействия системы от частоты колебаний близка к теоретической. Это указывает на достаточную точность разработанных во второй главе аналитических методов расчёта системы.

Далее при моделировании проводилось исследование возможностей самонастраивающейся системы для точного отслеживания траекторий при задании желаемой модели вида

$$\ddot{q} - \ddot{q}_d + \kappa_1(\dot{q} - \dot{q}_d) + \kappa(q - q_d) = 0, \quad (8)$$

где $\ddot{q}_d, \dot{q}_d, \dot{q}_d$ - входные сигналы, задающие изменение обобщенных координат манипулятора, их скоростей и ускорений вдоль траектории. Рассматривалось управление манипулятором с шагом дискретизации 2 мс по прямолинейной траектории с ускорением разгона-торможения 1 м/с^2 и постоянной скоростью на среднем участке $0,5 \text{ м/с}$. При этом максимальная траекторная ошибка составила 0,6 мм. Для выявления эффекта самонастройки при тех же условиях получены результаты для случая линейного управления (с компенсацией моментов сил тяжести): точность оказалась в 6,5 раз ниже, чем при самонастройке, причём это отношение значительно увеличивается при нагружении манипулятора. Выполнено также сравнение с "методом вычисляемых моментов": в этом случае максимальная ошибка оказывается меньше, чем при управлении с самонастройкой, но не более чем на 30%.

Проводилась, кроме того, оценка величины средних тепловых потерь мощности приводов при управлении по траектории (недостаток систем с разрывными управлениями - их энергетическая невыгодность). Разница по этому показателю между самонастраивающейся системой и системой с управлением по "методу вычисляемых моментов" составила около 1%. Малость этой величины подтверждает перспективность предложенного подхода к формированию сигнала самонастройки.

В других экспериментах при моделировании рассмотрена полуавтоматическая (по структуре) система управления манипулятором с самонастройкой по модели. Система в этом случае строится на основе желаемой модели вида

$$\ddot{q} = J^{-1}(q)K(x_d - f(q)) - K_1\dot{q}, \quad (9)$$

где $x_d, x = f(q)$ - заданные и фактические координаты рабочего органа манипулятора, $J(q) = (\partial f / \partial q)$ - матрица Якоби $n \times n$. Такая модель, если считать $J(q)$ примерно постоянной в малой окрестности заданного положения, определяет соотношение между входами и выходами $X = (p^2 + K_1p + K)^{-1}X_d$. Полученные для самонастраивающейся системы и системы без самонастройки переходные процессы по положению конечной точки манипулятора показывают, что введение самонастройки позволяет существенно ослабить взаимовлияние каналов управления, стабилизировать

характеристики системы. Это позволяет значительно упростить для оператора задачу управления манипуляционной системой.

Проведено моделирование работы самонастраивающейся системы при наличии помех. Выявлено, что наиболее нежелательны помехи в сигналах скорости степеней подвижности, так как в этом случае приходится ввести дополнительные постоянные составляющие в амплитудные сигналы $C_i(t)$ и допустить наличие вибраций в положении равновесия. Получены приближённые соотношения для оценки амплитуд этих вибраций и тепловых потерь мощности приводов, а также амплитуд мгновенной мощности приводов, расходуемой на автоколебания. Рассмотрены также зависимости этих характеристик от частоты колебаний в контуре самонастройки, определяемой выбором параметров фильтра коррекции (7).

В конце этой главы предложена методика построения систем рассматриваемого класса, в которой обобщаются результаты, полученные выше при разработке и исследовании системы. Методика допускает, что известны лишь грубые оценки параметров манипулятора. При этом уточнение параметров закона управления проводится на заключительном этапе, в ходе испытаний системы. Рекомендуется использовать в аппаратной части системы цифровые (импульсные) датчики для измерения скорости и двухпроцессорную вычислительную систему. Последнее позволяет освободить один из процессоров от всех вычислений, кроме необходимых для замыкания контура самонастройки, и обеспечить высокую частоту колебаний в контуре.

В четвёртой главе описана практическая разработка и реализация предложенной системы для электрогидравлического окрасочного манипулятора РБ-211, а также приводятся результаты экспериментального исследования системы.

Самонастраивающаяся система реализована на базе микро-ЭВМ типа ДВК-3 для базовых трёх степеней подвижности робота. Ошибки остальных степеней подвижности из-за малой длины соответствующих им звеньев значительно меньше влияют на точность движения рабочего органа манипулятора, для них управление оставлено в исходном виде (следящие приводы). При построении системы использовалась методика, описанная в предыдущей главе.

Потребовалась разработка аналогового блока фильтров и усилителей, образующего вместе с модулями ЦАП и АЦП малоинерционный блок сопряжения между ЭВМ и манипулятором.

Выполнена приближенная идентификация приводов манипулятора при их описании в виде уравнений (2). При этом использовались полученные переходные процессы по скорости разогнанных приводов манипулятора при ступенчатом изменении управляющих напряжений на их входах.

Управляющая программа, реализующая закон управления с самонастройкой по модели, разработана на языке Ассемблер в целочисленной арифметике, что позволило обеспечить малый шаг дискретизации 1,6 мс при замыкании контура самонастройки, несмотря на использование однопроцессорной вычислительной системы.

Сигналы скорости в данной системе получались на выходах дифференцирующих аналоговых фильтров, на входы которых поступали сигналы с датчиков положения – плёночных потенциометров – в степенях подвижности манипулятора. Инерционность фильтров приводит к снижению получаемой частоты колебаний в контуре самонастройки, а при уменьшении инерционности оказываются значительными помехи в сигналах скорости. Это существенно ограничило возможности улучшения характеристик системы за счёт введения коррекции сигнала ошибки относительно модели и повышения частоты колебаний. Указанные трудности вызваны несовершенством использованных аппаратных средств.

Кроме того, из-за помех пришлось добавить к амплитудным сигналам постоянные составляющие, чтобы избежать срыва с эталонного режима вблизи равновесного состояния и увеличения статических ошибок положения степеней подвижности. В связи с этим в равновесном состоянии в сигналах скорости оставалась вибрационная составляющая, соответствующая амплитуда вибраций конечной точки манипулятора – не более 0,25 мм, а статические ошибки положения степеней подвижности не превосходили цены младшего разряда АЦП (без учёта погрешности датчиков положения).

С целью проведения экспериментов разработано программное

обеспечение для формирования траекторий манипулятора и регистрации, обработки и представления в графическом виде результатов.

Выполнялось экспериментальное исследование точностных характеристик самонастраивающейся системы для типовых участков окрасочной траектории манипулятора. Сравнение осуществлялось с базовой системой, представляющей собой исходную систему управления рассматриваемым манипулятором со следящими приводами. Самонастраивающаяся система рассматривалась в двух видах: с желаемой моделью (8) и с входным сигналом положения. В последнем случае не использовались задающие сигналы скорости и ускорения. Экспериментально показано, что самонастраивающаяся система с входным сигналом положения обеспечивает снижение максимальной ошибки перпендикулярно траектории в 8.....14 раз по сравнению с базовой системой за счёт выравнивания при самонастройке динамических характеристик каналов управления. Использование дополнительных входных сигналов скорости и ускорения позволило, кроме того, добиться уменьшения максимальной абсолютной ошибки отслеживания траектории до величины 1,1.....2,7 мм в зависимости от параметров траектории. В экспериментах показаны, таким образом, работоспособность системы и её преимущества по сравнению с исходной системой управления робота.

В приложении приводятся тексты разработанных программ, принципиальная схема разработанного аналогового блока системы, акты о внедрении результатов диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты.

1. Разработан метод управления манипуляторами с сигнальной настройкой по эталонной модели, обеспечивающий приемлимые с точки зрения практического использования энергетические характеристики.

2. Проведен анализ устойчивости системы для нелинейной модели манипулятора. Показано, что обеспечивается его движение в согласованном с эталонной моделью режиме.

3. Разработаны аналитические методы исследования системы с учётом дополнительных инерционных моментов для случая двухстепенного манипулятора. Из результатов исследования следует, что при отсутствии взаимовлияния, типовых инерционных параметрах датчиков и двигателей и при быстродействии системы до 0,4 с допускается изменение моментов инерции нагрузки приводов до 70 раз.

4. Выполнено моделирование системы с помощью разработанного комплекса программ. Показана эффективность системы для точного отслеживания траекторий, устраняется взаимовлияние и стабилизируются характеристики. Полученные результаты также показывают перспективность использования системы при полуавтоматическом управлении манипулятором.

5. Проведено сравнение предложенного метода управления с одним из наиболее эффективных известных методов - "методом вычисляемых моментов". Показано, что предложенный метод позволяет существенно сократить объём вычислений при управлении (в 5-7 раз для шестистепенного манипулятора), что важно для реализации. При этом несколько увеличиваются максимальная ошибка отслеживания траекторий (не более, чем на 30%) и средние потери мощности приводов (около 1%).

6. Предложена методика построения системы. В ней учтено, что для реализации системы не требуется точной информации о параметрах манипулятора.

7. Самонастраивающаяся система управления практически реализована для электрогидравлического манипулятора РБ-211, при этом разработаны управляющая программа и аппаратная часть системы.

8. Разработаны программные средства для проведения экспериментальных исследований. Эксперименты показали работоспособность системы и её преимущества по сравнению с исходной

системой управления роботом.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Воронин Ю.Ю. Моделирование позиционной системы управления манипуляционным роботом // Динамическое моделирование сложных систем: Тез. докл. Всесоюзной конференции. - Гродно, 1987. - С.78-79.
2. Строительный манипулятор с дистанционно - автоматическим управлением / В.Я.Балагула, Ю.Ю.Воронин, Е.Л.Царькова, А.С.Щенко // Управление в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах. - М.:МИРЭА, 1987. - С.46-54.
3. Воронин Ю.Ю. Кинематические алгоритмы управления движением манипулятора повышенной точности // Известия вузов. Приборостроение. - 1988. - № 10. - С.44-48.
4. Воронин Ю.Ю. Самонастраивающаяся система с эталонной моделью для управления манипуляционным роботом // Известия вузов. Приборостроение. - 1989. - № 8. - С.23-29.
5. Воронин Ю.Ю., Щенко А.С. Полуавтоматические манипуляционные системы с адаптивным управлением по модели // Методы моделирования и управления в гибких автоматизированных производствах и системах автоматического управления. - М.:МИРЭА, 1989. - С.62-67.