

Ба 203869 Sp

**БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

ЮДЕНКОВ Виктор Степанович

УДК 621.865.8-83-527.2:
681.325.5-181.4(043.3)

**ОПТИМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РОБОКАРА
С УПРАВЛЕНИЕМ НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ОСНОВЕ
(МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ)**

05.09.03 — Электрооборудование (промышленность)

**Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук**

Минск 1985

Работа выполнена на кафедре "Электрооборудование и автоматизация промышленных установок" Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор АНХИМОВ В.Л.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор МИХАЛЕВ А.С.
кандидат технических наук,
доцент ЛУКЬЯНЕЦ С.В.

Ведущая организация - Центральный научно-исследовательский
технологический институт, г. Москва

Защита диссертации состоится "___" _____ 198__ г.
в _____ часов на заседании специализированного совета К 056.02.02
Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического
института.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью
предприятия, просим направлять по адресу: 220027, Минск, Ленинский
проспект, 65. Ученому секретарю специализированного совета
К 056.02.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВПИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1986 г.

Ученый секретарь
специализированного совета К 056.02.02,
кандидат технических наук, доцент

А.Н. ГЕРАСИМОВИЧ

69 203869 Ш

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из основных направлений, обеспечивающих успешное выполнение задач, поставленных XXVI съездом КПСС, по интенсификация общественного производства и ускорению темпов научно-технического прогресса в стране, является комплексная автоматизация отраслей народного хозяйства с использованием робототехники и гибких производственных систем.

Широкое применение промышленных роботов, мини- и микро-ЭВМ, внедрение гибкой технологии позволяет быстро перестраивать производство на изготовление новой продукции, значительно повысить производительность труда, сократить количество занятых людей и дает быстрый экономический эффект.

Для успешного решения поставленных задач в области робототехники необходимо:

- создание высокоэффективных, надежных малогабаритных следящих электро-, гидро- и пневмоприводов со встроенными волновыми, роликowymi передачами и датчиками положения;
- создание систем управления промышленными роботами, в том числе адаптивных, малоэнергопотребляющих, на базе микропроцессоров, модульной компоновки для всех видов технологических операций;
- создание алгоритмического и программного обеспечения систем управления, в том числе адаптивного, применительно к различным классам технологических операций с реализацией на микро-ЭВМ и микропроцессорных устройствах.

На сегодня принципы создания ГАП уже известны. Путь к их реализации лежит через дальнейшее совершенствование гибких комплексов, для чего предстоит решить немало сложных технических проблем. Среди них на первый план выдвигается проблема математического обеспечения тех алгоритмов и программ, которые позволяют использовать преимущества ЭВМ. В основу научно-технической стратегии должен быть положен блочно-агрегатный принцип построения ГАП на базе типовых рядов устройств и даже узлов.

Все возрастающий уровень автоматизации производства приводит к необходимости экономии энергетических затрат при выполнении заданной технологической программы с заданными быстродействием и точностью. В связи с этим построение рациональных по энергетическому критерию электромеханических систем приобретает особую актуальность.

Вопросами оптимизации электромеханических систем успешно зани-

маются ряд советских ученых, среди которых следует отметить работы А.В.Башарина, Ю.А.Сабинаина, Ю.П.Петрова, В.П.Чистова, В.И.Бондаренко, В.А.Святославского, В.А.Трапезникова, А.А.Булгакова, В.Л.Анхимова, В.И.Панасюка и др.

Новая элементная база – микропроцессоры и микро-ЭВМ – способствует дальнейшему совершенствованию законов управления и улучшению качества регулирования за счет усложнения алгоритмов управления. Однако цифровое управление накладывает ряд особенностей, которые надо учитывать при проектировании цифровых систем. Для успешного применения прямого цифрового управления необходимо разработать точные цифровые математические модели импульсных электроприводов, на основе которых строятся цифровые регуляторы, учитывающие дискретность работы ЭВМ.

В основу микропроцессорных электромеханических систем положено алгоритмическое и программное обеспечение. Одним из элементов САПР является проектирование рациональных по различным критериям алгоритмов и программ управления ЭМС с использованием ЭВМ.

Исходя из вышеизложенного, разработка инженерной методики синтеза быстродействующих микропроцессорных систем электропривода, оптимальных по энергетическому критерию, а также математического и программного обеспечения цифрового моделирования микропроцессорных систем является актуальной задачей.

Цель работы. Целью диссертационной работы является повышение экономичности и качества функционирования электроприводов роботов за счет оптимизации режимов работы, использования микропроцессорной техники и внедрения инженерной методики проектирования микропроцессорных электромеханических систем. Поставленная цель определила решение следующих основных задач:

1. Развитие вопросов построения оптимальных управлений для двигателей постоянного тока различного типа.
2. Разработка инженерной методики синтеза микропроцессорных ЭМС с оптимизацией по энергетическому критерию.
3. Разработка алгоритмов и структур регуляторов микропроцессорных ЭМС, позволяющих улучшить качество управления и формализовать способ синтеза законов управления.
4. Разработка математических моделей цифровых систем с ДПП с учетом дискретности импульсных преобразователей.
5. Создание математического и программного обеспечения автоматизированного синтеза цифровых электроприводов, оптимальных по энерге-

гическому критерию качества.

Метод исследования. Для решения поставленных задач используется метод асимптотической магистральной оптимизации, разработанный д.т.н. В.И.Панасюком, принцип максимума Л.С.Понтрягина и методы теории систем автоматического управления. Алгоритмы анализа строятся на основе матричной теории систем дифференциальных и разностных уравнений. Программы автоматизации процедур анализа и синтеза созданы на основе принципов структурного программирования.

Научная новизна работы. Научная новизна работы заключается в разработке:

- инженерной методики синтеза микропроцессорных ЭМС с ДПГ по энергетическому критерию с учетом быстродействия и точности;
- алгоритмов и регуляторов оптимального управления микропроцессорными ЭМС с ДПГ;
- оригинальных структурных и функциональных схем оптимальных ЭМС промышленного транспортного робота (ТР);
- нового алгоритма оптимизации и расчета переходных процессов в цифровых электроприводах с учетом дискретности силовых преобразователей.

Практическая ценность. Использование разработанной системы управления движением ТР с адаптацией к нагрузке на исполнительном уровне и с оптимизацией ЭМС по энергетическому критерию качества позволяет существенно повысить эффективность функционирования ТР в условиях ГАП, когда параметры объектов манипулирования меняются в широких пределах. При перемещениях грузов, создающих нагрузку меньше номинальной, использование разработанной системы позволяет повысить быстродействие. Разработанные алгоритмы управления и регуляторы обеспечивают наиболее полное использование электродвигателя по мощности во всем диапазоне изменения нагрузки. Предложенные модели, алгоритмы оптимизации и расчета переходных процессов позволяют автоматизировать решение задач анализа и синтеза электроприводов с управлением от микропроцессоров.

Достоверность результатов подтверждается достаточно точной сходимостью теоретических и экспериментальных исследований.

Полученные результаты доведены до инженерных методик и вычислительных алгоритмов, реализованных на ЭВМ, и могут быть использованы проектными и научно-исследовательскими организациями, занимающимися проектированием микропроцессорных систем управления электроприводом.

Тема диссертации соответствует координационному плану Республиканской научно-технической программы I4-ОIP и программе Минвуза СССР "Оптимум".

Исследования, разработки, их реализация и внедрение выполнены автором в процессе его участия в научно-исследовательских работах "Разработка цифровых моделей группы приводов постоянного и переменного тока для автоматизированной системы прогнозирования "АС-прогноз" (№ гос.рег. 79I30309) и "Разработка системы электропривода и ориентации роботокара" (№ гос.рег. 0I8200924I4).

Результаты диссертационной работы внедрены и используются на предприятиях г.Минска и г.Риги. Материалы первой главы внедрены в учебный процесс в качестве раздела в учебном пособии В.Л.Анхимюка и О.Ф.Опейко "Проектирование систем автоматического управления электроприводами".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзном научно-техническом совещании "Проблемы управления промышленными электромеханическими системами", Тольятти, 1982 г.; на республиканском научно-техническом совещании "Применение систем автоматизированного электропривода на промышленных предприятиях в Белоруссии", Могилев, 1982 г.; на республиканской научно-технической конференции "Проблемы вибрационных систем и их автоматизация", Ташкент, 1982 г.; на IX Всесоюзной научно-технической конференции по проблемам автоматизированного привода, Алма-Ата, 1983 г.; на III Всесоюзном совещании по робототехническим системам, Воронеж, 1984 год.

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 19 печатных трудах, в том числе в трех описаниях изобретений к авторским свидетельствам и трех отчетах по НИР.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 103 наименований и 12 приложений; изложена на 263 страницах машинописного текста, включая 55 страниц иллюстраций, содержит 49 страниц приложений и список литературы на 11 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена цель работы и решаемые в ней задачи, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе обоснована необходимость оптимизации управления транспортными роботами с автономным источником питания и микропроцессорным управлением. Установлено, что эффективным способом повышения производительности робота при ограниченном энергоресурсе источника питания является оптимальное по энергетическому критерию качества управления с учетом изменяющихся параметров нагрузки.

Анализ известных методов оптимизации показал, что наиболее рациональным с точки зрения снижения трудоемкости вычислительных процедур является метод асимптотической магистральной оптимизации динамических систем. На основе этого метода построены оптимальные алгоритмы управления электроприводом с двигателями постоянного тока.

Сравнительный анализ законов управления электроприводом по обобщенному критерию качества

$$I^* = \int_{V_0}^{V_3} T_M \frac{\lambda_1 + \lambda_2 \Delta P_{\Sigma}(x, V) + \lambda_3 P(x, V)}{\mu_3(x, V) - \mu_c(V)} dV = \int_{V_0}^{V_3} F^*(x, V) dV \rightarrow \min, \quad (1)$$

где T_M - электромеханическая постоянная времени; λ_i - весовые множители, $\Delta P_{\Sigma}(x, V)$ - суммарные потери в двигателе; $\mu_3(x, V)$ - электромагнитный момент; $\mu_c(V)$ - статический момент нагрузки; $P(x, V)$ - мощность в нагрузке, - показал, что наиболее существенный эффект экономии электроэнергии может быть достигнут при двухканальном управлении двигателем постоянного тока. Показано, что при оптимизации системы электропривода по критерию

$$I^* = \int_{V_0}^{V_3} T_M \frac{\Delta P_{\Sigma}(x, V)}{\mu_3(x, V) - \mu_c(V)} dV \rightarrow \min \quad (2)$$

при двухканальном управлении минимум функционала (2) достигается на границе области определения функции качества $F^*(\cdot)$. При учете ограничения по току якоря за счет более точного определения минимума функции качества $F^*(\cdot)$ построен регулятор, учитывающий момент статического сопротивления, снижающий потери в электроприводе на 7% при повышении быстродействия на 29% по сравнению с управлением, не учитывающим ограничения.

Для критерия оптимизации

$$I^* = \int_{V_0}^{V_3} T_M \frac{1 + \lambda \Delta P_{\Sigma}(i, \varphi, V)}{i\varphi - \mu_c} dV \rightarrow \min \quad (3)$$

при разгоне электропривода программный регулятор реализует следующие

функциональные зависимости:

1. Если ток якоря ДПТ вышел на ограничение, то есть $i = i_m$, тогда при линейной цепи возбуждения $i_a = U$ и при $|U| \leq U_m$ из условия $\varphi^*, i^* j = \arg \min_{i, \varphi} F^*(i, \varphi, \nu)$, получим

$$i^* = i_m; \quad i_a^* = \rho_1 + \sqrt{\rho_1^2 + q_1}, \quad (4)$$

где $\rho_1 = \mu_c / i_m$; $q_1 = [1 + \lambda(i_m^2 \rho + \Delta P_{\text{мех}})] / [\lambda(\alpha \rho_a + \mathcal{G}(\nu))]$,
 $\rho, \alpha \rho_a$ - относительные сопротивления цепи якоря и возбуждения;
 $\mathcal{G}(\nu)$ - коэффициент потерь в стали ДПТ.

2. Если ток возбуждения вышел на ограничение, то есть $i_a = i_{am}$ и $|U| \leq U_m$, то управление ведется по каналу якоря по уравнениям

$$i_a^* = i_{am}; \quad i^* = \rho_2 + \sqrt{\rho_2^2 + q_2}, \quad (5)$$

где $\rho_2 = \mu_c / i_a^*$, $q_2 = [1 + \lambda(\alpha \rho_a i_a^{*2} + \mathcal{G}(\nu) i_a^{*2} + \Delta P_{\text{мех}})] / \lambda \rho$.

3. Если имеет место ограничение по напряжению цепи якоря, то есть $U = U_m = i \rho + i_a \nu$, то управление формируется по цепи возбуждения. Оптимальное значение тока возбуждения в этом режиме получается при подстановке в функцию $F^*(\cdot)$ значения тока якоря $i = (U_m - i_a \nu) / \rho$

Тогда

$$i^* = (U_m - i_a^* \nu) / \rho; \quad i_a^* = \rho_3 + \sqrt{\rho_3^2 + q_3}, \quad (6)$$

где

$$\rho_3 = \frac{\lambda \mu_c (\mathcal{G}(\nu) \rho^3 + \nu^2 + \rho^2 \alpha \rho_a) + \nu (\lambda U_m^2 - \lambda \rho^2 \Delta P_{\text{мех}} - \rho^2)}{\lambda U_m (\rho^2 \alpha \rho_a + \mathcal{G}(\nu) \rho^2 - \nu^2)};$$

$$q_3 = \frac{\rho^2 (1 + \lambda \Delta P_{\text{мех}}) + \lambda (U_m^2 - \nu \mu_c \rho)}{\lambda (\rho^2 \alpha \rho_a + \mathcal{G}(\nu) \rho^2 - \nu^2)}.$$

Определение весового множителя для каждого режима производится моделированием системы электропривода с регуляторами (4)-(6). В результате получим семейство зависимостей $\lambda_{j,k} = f_{j,k}(\Delta V_{3j}, Q, \mu_{ck})$,

где $f_{j,k}(\Delta V_{3j}, Q, \mu_{ck})$ - некоторая поверхность при заданных потерях энергии за процесс Q . Для выбора весового множителя по полученной поверхности составляется таблица при заданной величине допустимых потерь $Q = Q_{\text{доп}}$, входами которой являются $\Delta V_{3j} = V_{3j} - V_{0j}$

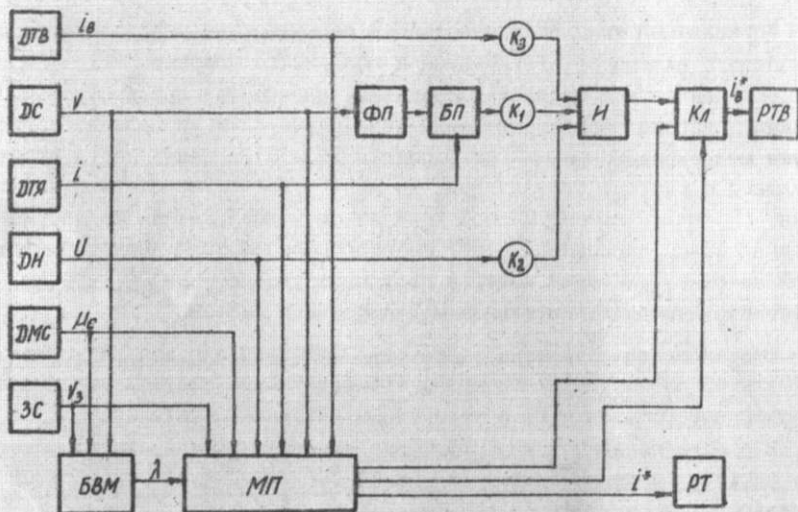


Рис. I. Функциональная схема регулятора электропривода с двухканальным управлением

и $\mu_{СК}$, а выходом - значение весового множителя $\lambda_{j,k}$.

Полученные законы управления реализованы в функциональной схеме, представленной на рис. I.

Электропривод содержит аналоговую часть, включающую датчик тока возбуждения ДТВ, датчик скорости ДС, датчик тока якоря ДГЯ, датчик напряжения на якоре ДН, функциональный преобразователь ФП, соединенный с первым входом блока перемножения БП, и интегратор И, три входа которого соединяются соответственно с ДТВ, с БП, и с ДН через коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 . Дискретная часть системы управления включает датчик статического момента ДМС, задатчик скорости ЗС, блок весовых множителей БВМ, микропроцессор МП, аналоговый ключ K_{λ} , регулятор тока якоря РТ. Работа электропривода происходит в двух режимах: статическом и динамическом. Управление статическим режимом при отсутствии ограничений на управляющие воздействия и фазовые координаты производится из условия минимума (2) по формулам

$$\begin{cases} -i_s^2 p + 6(n)\varphi^2 + \frac{\varphi}{2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (i_s^2(\varphi)\alpha\beta) = 0; \\ 1 + \mu_c / i\varphi = \Delta P_{\Sigma} / (2i_s^2 p). \end{cases}$$

Управляемый ключ КД осуществляет переключение управления с динамического режима на статический и обратно по условию $|V_3 - V| < \varepsilon$, где ε - малая положительная величина, выбираемая при настройке. В режиме разгона происходит коммутация ключа КД, и управление организуется микропроцессором МП по формулам (4)-(6) в зависимости от действующего в системе ограничения. МП вырабатывает управляющие воздействия i^* и i_s^* на регуляторы тока якоря и возбуждения из матрицы, предварительно записанной в ПЗУ микропроцессора. ВВМ представляет собой матрицу, значения которой соответствуют весовым множителям, полученным при предварительном моделировании системы.

Вторая глава посвящена разработке методики синтеза регуляторов оптимальной по энергетическому критерию качества системы управления транспортным роботом (ТР) с автономным источником питания.

В работе показано, что улучшение качества регулирования может быть достигнуто применением в системе регулятора с переключаемой структурой.

При отклонениях регулируемой величины в пределах 15% от заданного значения работает структура оптимальной стабилизации. При больших рассогласованиях происходит изменение структуры регулятора с включением адаптивного цифрового регулятора, оптимизирующего работу системы "в большом". Построение регуляторов электроприводов ведущего колеса и рулевого управления транспортного робота производится на основе математической модели ЭМС транспортного робота. Механическая система ТР представляет собой четырехколесную тележку, оси колес которой взаимно перпендикулярны. Двигатель главного движения установлен на переднем ведущем колесе. Двигатель рулевого управления воздействует через систему рычагов на переднее и заднее колеса, поворачивая их на одинаковый угол, обеспечивающий движение центра масс ТР по дуге окружности. На рис.2 показан вид в плане четырехколесного ТР, колесо 3 которого является ведущим. Колеса 3 и 4 являются управляемыми в шарнирах В и С. Колеса 1, 2 - свободно вращающиеся. Конфигурация ТР задается восемью параметрами: координатами x , y шарнира В углами β и κ и углами поворота колес φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 . Если между дорогой и колесами нет проскальзывания, то система будет иметь семь неголономных связей. Три из них выражают отсутствие боковых составляющих скоростей точек А, В, С, четыре - отсутствие скоростей точек соприкосновения колес с дорогой. Система имеет две степени свободы. При использовании уравнений движения неголономной механиче-

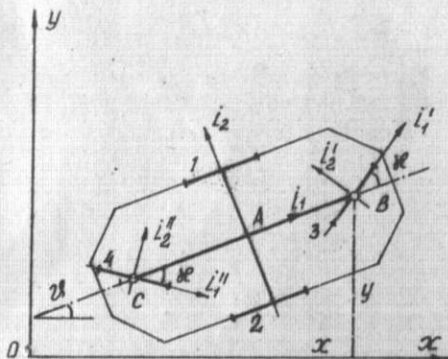


Рис.2. Кинематическая схема транспортного робота

и центробежные моменты; $F = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} & f_{15} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{26} & f_{27} & f_{28} \end{vmatrix}$ - матрица коэффициентов; $\bar{M} = \{\mu_x, \mu_y, \mu_{c1}, \mu_{c2}, \mu_c, \mu_{c3}, \mu_{c4}, \mu_{c5}\}^T$ - вектор моментов. Анализ уравнения (8) показал, что для синтеза регуляторов тягового электропривода можно сделать допущение $\dot{\mathcal{K}} = \text{const}$, что позволяет линеаризовать математическую модель и заменить инерционность тягового электропривода эквивалентной электромеханической постоянной T_{M3} . Это допущение позволяет применить для синтеза управлений асимптотический магистральный метод оптимизации. Установлено, что в режимах разгона и торможения система электропривода выполняется с переключаемой структурой. На рис. 3. приведена структурная схема оптимальной системы электропривода по критерию

$$I^* = \int_{V_0}^{V_3} T_{M3} \frac{i^2 \rho + \mu_c V + \lambda (V_3 - V)^2}{i - \mu_c} dV \rightarrow \min, \quad (9)$$

где i - относительное значение тока якоря; ρ - относительное сопротивление якорной цепи; μ_c - относительное значение момента сопротивления; λ - весовой множитель, определяющий точность системы; V - относительное значение скорости двигателя; V_3 - задающее воздействие по скорости.

Используя асимптотическую процедуру оптимизации режима обработки скачка задания V_3 , получим уравнения оптимального регулятора для критерия качества (9):

$$i_{p,T}^* = \mu_c \pm \sqrt{\mu_c^2 + (\mu_c V + \lambda (V_3 - V)^2) / \rho},$$

ской системы в форме управлений Эйлера-Лагранжа получена математическая модель ТР в виде

$$H(\bar{q})\ddot{\bar{q}} + h(\bar{q}, \dot{\bar{q}}) = F\bar{M}, \quad (8)$$

где $H(\bar{q}) = \begin{vmatrix} A_{11}(\mathcal{K}) & A_{12}(\mathcal{K}) \\ A_{21}(\mathcal{K}) & A_{22}(\mathcal{K}) \end{vmatrix}$ - положительно определенная матрица инерции; $q = \{\mathcal{K}, \varphi_3\}^T$; $h(\bar{q}, \dot{\bar{q}}) = \{A_{13}(\mathcal{K}, \dot{\mathcal{K}}, \dot{\varphi}_3), A_{23}(\mathcal{K}, \dot{\mathcal{K}}, \dot{\varphi}_3)\}^T$ -

вектор, отражающий кориолисовы

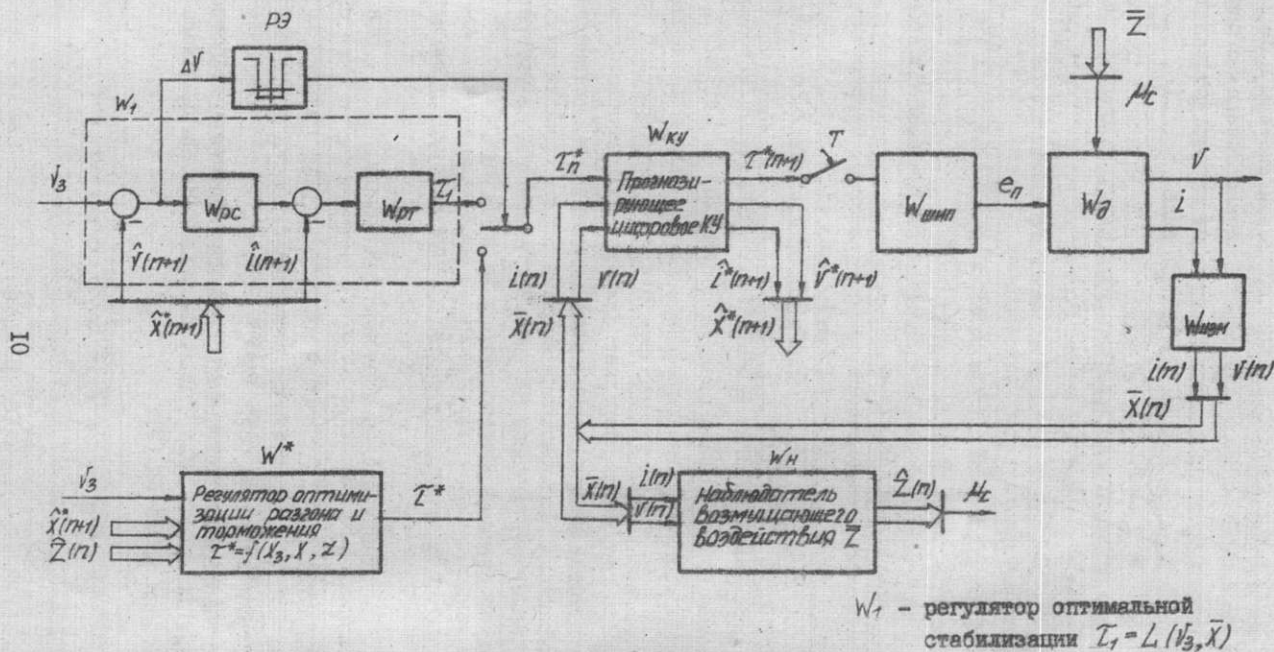


Рис.3. Структурная схема оптимального по энергетическому критерию электропривода с прогнозным корректирующим устройством

где "+" - соответствует режиму разгона; "-" - режиму торможения. Весовой множитель λ определяется из уравнения, определяющего точность системы регулирования: $\Delta = \Delta [(\bar{x}_3 - \bar{x}_6), \mu c, \lambda]$.

При больших рассогласования по скорости ($\Delta V > 15\%$) управление формируется от оптимального регулятора W^* , представляющего собой матрицу оптимальных значений управляющего воздействия Z^* , полученную на основе минимизации потребляемой энергии при заданной скоростной ошибке. При малых рассогласованиях работает регулятор оптимальной стабилизации W_1 . В предложенной структуре с помощью прогнозирующего цифрового корректирующего устройства $W_{ку}$ осуществляется компенсация дискретности широтно-импульсного преобразователя $W_{шип}$ и запаздывания микропроцессорной системы уравнения. Сущность прогнозирующей дискретной коррекции поясняется следующим алгоритмом, функционирующим на n -м интервале управления. 1 шаг. Выдача управляющего воздействия $Z^*(n)$ на n -ый интервал управления по прерыванию таймера. 2 шаг. Измерение вектора переменных состояния объекта $\bar{X}(n)$ с помощью измерителя $W_{изм}$ и вектора возмущающих воздействий $\bar{Z}(n)$ - с помощью наблюдателя W_N в начале n -го интервала управления. 3 шаг. Прогнозирование вектора \bar{X} на конец n -го интервала управления по дискретной модели объекта управления с ШИП по уравнению $\bar{X}^*(n+1) = A\bar{X}(n) + \varphi(Z^*(n), \bar{Z}(n))$. 4 шаг. Вычисление прогнозируемого вектора управляющего воздействия $Z(n+1)$ с помощью регулятора оптимального разгона W^* или регулятора оптимальной стабилизации W_1 на $(n+1)$ -ый интервал управления $Z(n+1) = f(\bar{x}_3, \bar{X}^*(n+1), \bar{Z}(n))$. 5 шаг. Формирование управляющего воздействия $Z^*(n+1)$ на $(n+1)$ -ый интервал управления $Z^*(n+1) = [Z^*(n) + Z(n+1)]/2$. 6 шаг. Проверка $(\bar{x}_3 - \bar{V}(n)) < 15\%$. Если условие выполняется, то переход на подпрограмму регулятора режима стабилизации. Если нет, то переход к выполнению шага 1.

Введение оптимального регулятора и прогнозирующей дискретной коррекции позволило снизить перерегулирование на 12% при уменьшении потребления энергии при разгоне на 17%.

Использование разработанной методики при оптимизации режима позиционирования по энергетическому критерию позволило получить структуру регулятора, адаптивного к изменениям момента сопротивления и момента инерции системы электропривода с учетом ограничений на фазовые координаты. Оптимизация производилась по критерию минимума потребляемой энергии при заданном перемещении:

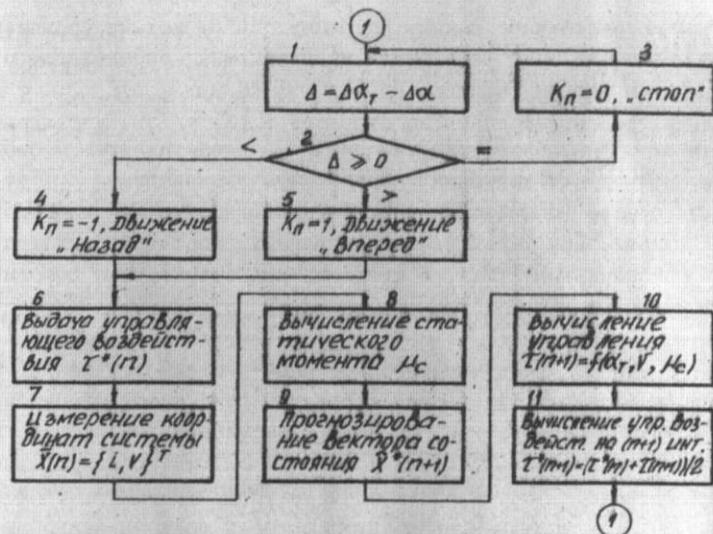


Рис.4. Алгоритм позиционного регулятора

$$I^* = \int_0^{v_n} \frac{F(l, v)}{I_p - \mu_c} dv + \int_{v_n}^0 \frac{F(l, v)}{I_T - \mu_c} dv \rightarrow \min,$$

где $F(l, v) = I_p^2 \rho + \mu_c v - \lambda v$; I_p - ток двигателя при разгоне; I_T - ток двигателя при торможении; v_n - скорость переключения на торможение. Уравнения оптимальных регуляторов имеют вид:

$$i_d^* = \sqrt{\mu_c^2 + v(\mu_c - \lambda)/\rho}; \quad \lambda = \sqrt{8\rho^2 \mu_c^3 T_M^3 \alpha_T + \mu_c},$$

где α_T - заданный угол, i_d^* - динамическая составляющая тока. Получены выражения для оптимальных регуляторов с учетом ограничений по скорости и току. На рис.4 представлен алгоритм работы позиционного оптимального регулятора. Входным заданием для регулятора является величина заданного приращения $\Delta\alpha_T$. В блоке I производится определение разности между заданным значением приращения и текущим значением угла. По знаку и величине этой разности формируются соответствующие режимы работы привода (блоки 2-5). Блок 6 выдает управляющее воздействие γ_n^* - код ширины импульса на n -й интервал управления. Блок 7 организует считывание координат привода

$\bar{X}(n) = \{i(n), v(n)\}^T$. В блоке 8 вычисляется статический момент сопротивления μ_c . В блоке 9 производится прогнозирование вектора координат $\bar{X}^*(n+1)$ на конец n -го интервала управления. В блоках 10-11 формируется управляющее воздействие $T^*(n+1)$ на $(n+1)$ -й интервал управления на основе матрицы оптимальных значений $T(n+1) = f(\alpha_T, v(n+1), \mu_c(n))$, полученной по уравнениям регуляторов позиционных процессов.

Третья глава посвящена разработке методик и алгоритмов автоматизированного анализа и синтеза цифровых регуляторов на основе дискретной математической модели электропривода и оптимизации режимов его работы на базе асимптотического метода оптимизации дискретных систем. Здесь проводились исследования динамических свойств импульсных электроприводов постоянного тока с уравнениями оптимальных регуляторов, полученными во второй главе, а также с уравнениями регуляторов, оптимизирующими систему электропривода по сложным критериям качества. Разработаны математические модели импульсного электропривода с микропроцессорным управлением широтно-импульсным преобразователем, и получены основные соотношения в замкнутой форме как для мгновенных значений, так и в виде разностных уравнений. Разработан алгоритм синтеза управления цифровой системой электропривода, и создан новый алгоритм оптимизации переходных процессов по критериям, учитывающим быстродействие, потери, энергопотребление и производительность. Полученные алгоритмы и программы исследования динамики цифровых систем электропривода повышают в 5 раз экономичность и скорость расчетов при проектировании с использованием ЭВМ.

По результатам исследований сформулированы требования к специализированным вычислительным устройствам, на которых возможна реализация оптимальных регуляторов с прогнозирующими моделями, определена величина интервала квантования по времени и ее влияние на динамику системы. Показано, что для снижения потерь энергии в электроприводе и повышения быстродействия управление необходимо формировать с учетом пульсаций тока якоря. Если амплитуда пульсаций желаемых значений тока не превышает допустимого значения, то управление организуется по средним значениям тока якоря. Если пульсации желаемого тока превышают допустимый уровень, то управление ведется по максимально допустимым пульсациям.

Проведено исследование электропривода с двухканальным управлением на ЦВМ с использованием цифровой модели ДПТ при учете насыщения магнитной системы машины.

Моделирование проводилось для двух вариантов критериев оптимизации. В первом варианте учитывались быстродействие и потребление энергии при рекуперативном торможении. Во втором варианте учитывались только полные потери в ДПП при динамическом торможении. Это позволило при одинаковом потреблении энергии при разгоне снизить потери на 6%. При торможении отдача энергии составила 23%.

Численное исследование показало, что при отношении периода ШИП к электромагнитной постоянной привода большем 0,1 дискретность ШИП пренебрегать нельзя и необходимо использовать при синтезе управления дискретную методику оптимизации.

В четвертой главе приводятся результаты разработки и исследования цифровой системы управления транспортным роботом с оптимальными регуляторами. Разработаны рациональная аппаратная часть, алгоритмическое и программное обеспечение транспортного робота на основе применения микро-ЭВМ "Электроника 60" и оптимальных регуляторов в системе управления электродвижением ТР. Проведенный анализ структур систем управления промышленными роботами показал, что для ТР наиболее рациональной является одноуровневая однопроцессорная структура системы управления.

При моделировании наблюдающего устройства момента нагрузки исследовалась устойчивость оценки статического момента и его влияние на энергетические показатели системы электропривода ТР.

В работе представлены функциональные схемы интерфейсного блока связи датчиков координат привода с микро-ЭВМ "Электроника-60". В качестве варианта системы ориентации ТР предлагается фотоориентация по светоотражающей полосе. Сигнал об отклонении от полосы поступает в систему управления ТР от фотодатчика, расположенного на днище робота. Для повышения точности системы ориентации применен фотодатчик со сканированием края полосы. Это снижает чувствительность системы фотоориентации к изменению освещенности полосы. Алгоритм управления ТР состоит из основной программы и подпрограмм, обеспечивающих режимы разгона, установившегося движения, торможения, позиционирования и поворота. Экспериментальные исследования оптимальных регуляторов проводились на макете системы управления с использованием в качестве диалого-вычислительного комплекса устройства управления промышленными роботами "Сфера-36", разработанного в НПО "Гранат", г. Минск.

Экспериментальная проверка проводилась для оценки снижения потерь в электроприводе за счет использования оптимальных регуляторов, а также быстродействия и точности - за счет введения прогнози-

рущей дискретность коррекции. Дано описание методики проведения эксперимента, приводятся и анализируются результаты исследований в виде осциллограмм.

Экспериментальные исследования подтвердили снижение потерь и потребления энергии при высоких динамических показателях в микропроцессорной системе регулирования ДПТ.

В приложениях даны листинги и описания программ исследования цифровых моделей электропривода с ДПТ, математические модели цифрового электропривода с ШИП, оптимальным регулятором и прогнозирующим цифровым корректирующим устройством. Приведены документы об использовании результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наиболее рациональным по трудоемкости методом оптимизации электромеханических систем промышленных роботов по энергетическому критерию при высоких быстродействии и точности является метод асимптотической магистральной оптимизации. Его использование для двухканального управления ДПТ за счет более точного определения минимума функции потерь с учетом ограничения на ток якоря позволяет снизить потери в электроприводе на 7% при повышении быстродействия на 29,2%.

2. Разработанные цифровые математические модели ДПТ различных типов позволяют создать поисковые алгоритмы анализа и синтеза цифровых систем электропривода при выборе необходимых вариантных решений. Эти алгоритмы управления дискретной системой электропривода с ШИП определяемые на базе дискретного магистрального метода оптимизации при достаточно сложном критерии качества с учетом изменяющегося момента нагрузки позволяют сократить время анализа и синтеза на ЭВМ примерно в 5 раз по сравнению с другими моделями и численными методами.

3. Результаты исследований математической модели транспортного робота (ТР) показывают, что в режимах отработки больших рассогласований построение регулятора ЭМС транспортного робота следует производить с переключаемой структурой по критерию энергопотребления при заданных быстродействии и ошибке. При малых отклонениях управление формируется в соответствии со структурой регулятора, обеспечивающего оптимальные процессы стабилизации и слежения.

4. Разработанная методика синтеза микропроцессорных систем электропривода позволяет построить алгоритм управления ЭМС по энер-

гетическому критерию и обеспечить заданные быстродействие и точность при учете дискретности управления и силового ШИП. Для компенсации запаздывания в цифровой системе при дискретности преобразователя структура регулятора включает прогнозирующую модель, в основу построения которой положены разностные уравнения объекта управления. Управляющее воздействие (УВ) выбирается в соответствии с поставленной целью управления в зависимости от текущих значений координат и возмущающих воздействий с последующей коррекцией УВ в цифровом регуляторе с прогнозирующей моделью.

5. Испытания алгоритмов управления на макетном образце системы управления двухдвигательным электроприводом транспортного робота подтверждают целесообразность методики синтеза оптимальных регуляторов на микропроцессорной основе.

6. В диссертационной работе решены 2 основных задачи. Во-первых, предложены рациональные системы электропривода ТР, удовлетворяющие условиям энергосбережения и выполнения операций управления с высокой точностью и быстродействием. Во-вторых, разработанные методики расчета, анализа, синтеза и исследования моделей электропривода позволяют в значительной мере ускорить процесс проектирования подобных систем.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Субоптимальное по потерям импульсное управление двигателем постоянного тока в переходном процессе. - Мн., 1980. - 29 с, (рукопись деп. в БелНИИНТИ 20 февраля 1980, № 123-80 деп) (соавторы: В.Л. Анхимюк, В.И. Панасюк).
2. А.С. № 851722 (СССР) Следящий электропривод (соавтор В.Л. Анхимюк). - Оpubл. в Б.И. № 28, 1981.
3. Задачи оптимального по быстродействию непрерывного и импульсного управления электроприводом постоянного тока при заданном уровне потерь в режимах разгона и торможения. - Мн. 1981, - 75 с. (рук. деп. в БелНИИНТИ 5 марта 1981, № 247-81 Деп) (Соавторы В.Л. Анхимюк, В.И. Панасюк, Э.Д. Политько).
4. Оптимизация переходных процессов в системе "ШИП-двигатель" по минимуму потерь. - В кн.: Электромашиностроение и электрооборудование. - Киев: Техника, 1982, № 34, с.3-9. (соавторы: В.Л. Анхимюк, В.И. Панасюк).
5. Интерфейс управления двигателем постоянного тока с ШИП от микро-ЭВМ "Электроника-60". - Мн., 1982. - 18 с. (рук. деп. в БелНИИНТИ 26 февраля 1982, № 360 Деп) (соавтор: Ю.В. Лопатин).

6. Асимптотическая магистральная процедура определения оптимального управления электроприводами. - В кн.: Проблемы управления промышленными электромеханическими системами: Тез. докл. Всесоюзн. совещ. Тольятти, 1982, с.39-40 (соавт. В.Л. Анхимюк, В.И. Панасюк, Э.Д. Политыко).
7. Повышение энергетических показателей электропривода постоянного тока с ШИП. - В кн.: Применение автоматизированного электропривода на промышленных предприятиях Белоруссии: Тез. докл. Респуб. совещ. Могилев, 1982, с.5-7 (соавторы В.Л. Анхимюк, В.И. Панасюк).
8. А.С. № 1003280 (СССР). Электропривод постоянного тока с минимизацией потерь в двигателе. - Опубл. в В.И., 1983, № 9 (соавт. Анхимюк В.Л., Панасюк В.И., Политыко Э.Д.).
9. Оптимизация импульсного рекуперативного торможения электропривода постоянного тока. - Энергетика. Изв. ВУЗов СССР, 1983, № 2, с.50-54 (соавт. В.Л. Анхимюк, В.И. Панасюк).
10. К вопросу оптимизации управления электроприводами постоянного тока роботов и манипуляторов. - В кн. Применение автоматизированного электропривода на промышленных предприятиях Белоруссии: Тез. докл. Респуб. совещ. Могилев, 1982, с.76-78. (соавторы В.И. Панасюк, А.Н. Родюков).
11. Исследование динамики электропривода с двухканальным управлением с учетом дискретности преобразователей. - Электротехническая промышленность. Сер. Электропривод, 1983. Вып. 12(122), с.3-5 (соавтор В.Л. Анхимюк).
12. Синтез оптимальных управлений электроприводами постоянного тока для микропроцессорных реализаций. - В кн.: Проблемы автоматизированного электропривода. Тез. докл. 9 Всесоюзн. конф. Алма-Ата, 1983, с. 9-10 (соавт. В.Л. Анхимюк, В.И. Панасюк).
13. А.С. 1107239 (СССР) Электропривод постоянного тока с минимизацией потерь в двигателе /Анхимюк В.Л., Юденков В.С., Панасюк В.И., Панасюк А.И.. - Опубл. в В.И. 1984, № 29.
14. Микропроцессорное управление движением роботокара. - В кн.: Робототехнические системы. Тез. докл. III Всесоюзн. совещ. Воронеж. 1984, с. 103-104 (соавт. Анхимюк В.Л., Петренко Ю.Н.).
15. Синтез системы электропривода постоянного тока с микропроцессорным управлением. - Энергетика. Изв. ВУЗов СССР, 1985, №2, с.25-30.
16. Рациональное по энергетическому критерию микропроцессорное управление электроприводом роботокара. - В кн.: Опыт создания и пути повышения эффективности функционирования АСУ ТП. Тез. докл. Республ. конф. Гомель, 1985, с.15-16 (соавт. Анхимюк В.Л., Лопатин Ю.В.).

17. Управление позиционным электроприводом, оптимальное по полным потерям. В кн.: Научно-прикладные проблемы энергетики, Минск, Высшая школа, 1985, № 12 (соавторы В.Л. Анхимук, В.И. Панасюк, Ю.В. Лопатин).

Виктор Степанович ЮДЕНКОВ

**ОПТИМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РОБОКАРА
С УПРАВЛЕНИЕМ НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ОСНОВЕ
(МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ)**

05.09.03 - Электрооборудование (промышленность)

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Корректор Г.В.Ширкина

Подписано в печать 19.11.85. АТ 17872.

Формат 60x84^I/16. Бумага тип. № 2. Офсетная печать.

Усл.печ.л. 1,16. Уч.-изд.л. 0,9. Тир. 128. Зак. 2317. Бесплатно.

Отпечатано на ротапринте БПИ. 220027, Минск, Ленинский пр., 65.

Дзяржаўная
бібліятэка
БССР
Іван У. І. Ясінск



БЕСПЛАТНО



80000002729806