М421585

Министерство высшего и среднего специального образования
СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и
ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи
УДК 621.01

Егорова Ольга Владимировна

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ ПОЗИЦИОННОГО ТИПА

Специальность 05.02.18 – Теория механизмов, машин
и автоматических линий

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1984

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель – член-корреспондент АН СССР ФРОЛОВ К.В.

Официальные оппоненты: доктор техн.наук, профессор ВОРОБЬЕВ Е.И.

старший научный сотрудник, канд.техн.наук УШАКОВ В.И.

Ведущее предприятие – ЦНИИ робототехники и технической кибернетики г.Ленинград

Защита состоится "____"_____1984 г. в _____ часов на заседании специализированного совета К.053.I5.II "Машиностроение" в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э. Баумана по адресу:

I07005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5

С диссертацией можно ознако[illegible] им. Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на автореферат [illegible] печатью учреждения, просим н[illegible]

Автореферат разослан "[illegible]

Ученый секретарь специализированного со[illegible] кандидат технических н[illegible] доцент

М421585

Актуальность темы. В последнее десятилетие бурное развитие получила новая отрасль техники – роботостроение. Повышенный интерес к роботам (ПР) объясняется тем, что с их помощью могут быть решены важные социальные и экономические проблемы. Они оказались тем недостающим звеном, появление которого позволило решить задачи комплексной автоматизации на более высоком уровне, объединяя средства производства предприятия в единий автоматизированный комплекс.

Эффективность применения ПР в значительной мере определяется соответствием выбранного типа робота и его конструктивных параметров конкретному технологическому процессу. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется проблеме оптимального проектирования ПР и его отдельных элементов. При этом учитывается влияние выбранных значений параметров на функциональные возможности робота.

В связи с вышеизложенным разработка методики и пакета программ автоматизированного выбора оптимальных конструктивных параметров промышленного робота, обеспечивающих его наиболее эффективную работу в технологическом процессе, является важной и актуальной задачей на современном этапе развития робототехники.

Цель работы – оптимизация элементов конструкции промышленного робота позиционного типа с точки зрения снижения общей металлоемкости манипулятора и улучшения показателей качества его работы (точности позиционирования и быстродействия).

Методы исследования. Математическое описание динамики ПР получено с привлечением аппарата аналитической механики. Поиск оптимального варианта распределения масс узлов велся с использованием просмотра области варьируемых параметров с помощью равномерно распределенных LP_τ -последовательностей и оценки работы ПР одновременно по четырем критериям. Численное моделирование динамики робота и расчет показателей качества, основанный на использовании теории оптимального управления, проводились на ЭВМ серии ЕС. С целью подтверждения адекватности разработанной динамической модели выполнены специальные экспериментальные исследования с использованием современной контрольно-регистрирующей аппаратуры. Уточнение количественных зависимостей показателей качества от масс узлов ПР получены на основе теории планирования эксперимента и регрессионного анализа.

Научная новизна. Проведено исследование промышленного робота

М42 1985

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1421585
Егорова О.В.Оптимизация кс

МГТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

с позиционной системой управления с точки зрения выбора оптимальных параметров конструкции и изучения их влияния на его функциональные возможности. Разработана динамическая модель ПР, позволяющая исследовать его движение при наличии жесткой кинематической связи между отдельными звеньями. Предложен способ вычисления показателей качества робота, включающий осреднение их по множеству "конечных" точек сервисной зоны. Получены мультипликативные модели, выраженные в виде регрессионных зависимостей точности позиционирования и быстродействия от различных значений масс основных узлов робота. Разработан способ экспериментального измерения и регистрации угловых перемещений ПР, работающего в сферической системе координат.

Практическая ценность. I.Создан алгоритм и пакет программ автоматизированного выбора конструктивных параметров промышленного робота, использование которого позволяет сократить сроки поиска оптимального варианта в I,5 и более раз.

2. Разработан экспериментальный метод исследования движения ПР, сокращающий длительность испытаний роботов в несколько раз.

3. Получены регрессионные зависимости точности позиционирования и быстродействия ПР от значений масс его основных узлов.

4. Предложен способ вычисления показателей качества робота, позволяющий оценить его динамические характеристики с учетом всей зоны обслуживания.

Реализация работы. Результаты работы в виде пакета программ использованы при поиске оптимальных конструктивных параметров серийно выпускаемого модульного робота РПМ-25, что сократило сроки проведения работ по усовершенствованию его конструкции в I,5 раза. Предложенный способ экспериментального исследования ПР внедрен при испытаниях роботов на безотказность и сократил продолжительность их проведения в 3 раза с экономическим эффектом 5700 рублей.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на:

- республиканской научно-технической конференции " Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении с применением промышленных роботов и манипуляторов", Ташкент, I983г.;

- всесоюзном научно-техническом совещании "Механизация и автоматизация сборки изделий машиностроения для агропромышленных комплексов", Кишинев, I983 г.;

– областном научно-техническом семинаре "Состояние, опыт и направление работ по комплексной автоматизации производства на основе гибких автоматизированных производств, робототехнических комплексов и промышленных роботов", Пенза, 1984 г.;

– III всесоюзном совещании по робототехническим системам, Воронеж, 1984 г.;

– научном семинаре кафедры "Теория механизмов" МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1984 г.

Публикации. Материал диссертации отражен в 5 публикациях.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и общих выводов, изложенных на 90 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков, 15 таблиц, приложения на 16 страницах, в том числе программу для ЭВМ и акты о внедрении, и список литературы из 118 наименований (из них 107 на русском языке). Общий объем работы составляет 189 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении формулируются решаемые в работе задачи и обосновывается их актуальность.

Глава первая содержит обзор работ по робототехнике и посвящена анализу задач, возникающих при исследовании динамики, управлении движением и выборе оптимальных параметров промышленных роботов. Приведены исторические сведения появления и развития ПР и показана их роль сегодня. Отмечено растущее число ПР, работающих в сферической и ангулярной системах координат. В роботах указанного типа, как правило, содержится жесткая кинематическая связь между отдельными звеньями, позволяющая сохранять ориентацию переносимого груза при любых пространственных перемещениях манипулятора. Благодаря такой конструктивной особенности создаются определенные удобства при программировании движения, что предопределило их широкое распространение.

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам оптимального проектирования ПР и их отдельных элементов. В работах Никомарова Я.С., Баскаева Л.К., Боровина Г.К., Колпашникова С.Н., Медведева В.С. и др. рассмотрены вопросы выбора длин звеньев и структуры манипулятора в целом, определение оптимальных параметров пневматических и гидравлических приводов, захватных устройств; моделирование систем управления. Однако проведенные исследования не затрагивали вопросов оптимального распределения масс узлов

промышленного робота.

Проведенный анализ существующих моделей ПР показал, что их грузоподъемность более чем на порядок уступает массе манипулятора. Это объясняется несколькими причинами: малой жесткостью многозвенной конструкции ПР, высокими требованиями по обеспечению точности позиционирования и быстродействия при большом числе степеней подвижности и наличии стыков.

Сложность поставленной оптимизационной задачи заключается в том, что поиск конструктивных параметров должен вестись с учетом их влияния на динамические характеристики робота и снижение массы манипулятора.

Таким образом, на основе проведенного анализа насущных проблем робототехники и изучения выполненных научных работ были сформулированы задачи настоящего исследования:

1. Разработать динамическую модель, позволяющую исследовать движение ПР с жесткой кинематической связью между отдельными звеньями.

2. Провести экспериментальные исследования, направленные на подтверждение адекватности разработанной динамической модели ПР.

3. Создать методику выбора оптимальных конструктивных параметров промышленных роботов, учитывающую одновременно четыре критерия оптимизации (точность позиционирования, быстродействие, грузоподъемность, массу манипулятора).

4. Разработать показатели качества работы ПР с учетом всей зоны обслуживания.

5. Найти оптимальные конструктивные параметры серийно выпускаемого робота и оценить их влияние на показатели качества его функционирования.

Во второй главе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой динамической модели промышленного робота с жесткой кинематической связью между отдельными звеньями.

Теоретические основы исследования динамики приведены в работах Кулакова Ф.М., Коренева Г.В., Верещагина А.Ф., Вукобратовича М. Пола Р. и других советских и зарубежных ученых. Основным средством динамического исследования служит математическое моделирование на ЭВМ с применением численных методов.

Однако анализ существующих на сегодняшний день моделирующих программ показал, что применение их для исследования движения ро-

ботов с жесткой кинематической связью крайне затруднительно, либо совсем невозможно.

Выбранная расчетная схема (рис. I) основывается на рассмотрении шести твердых тел, иммитирующих жесткие звенья четырехподвижного промышленного робота. Составление уравнений движения осуществляется с помощью уравнений Лагранжа второго года. Обобщенными координатами выбраны угловые перемещения ПР: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$. Кинетическая энергия (КЭ) складывается из суммы КЭ каждого тела, определенных по теореме Кенига.

Обобщенные силы системы найдены в виде суммы активных и потенциальных сил. В конструкции манипуляторов, как правило, имеются самотормозящиеся передачи, необходимые для предотвращения движения с выключенными двигателями. Поэтому к активным силам присоединены моменты сухого трения, "включающиеся" по достижению схватом промышленного робота достаточной малой окрестности "конечной" точки.

Полученная система уравнений движения четырехподвижного робота с жесткой кинематической связью между отдельными звеньями имеют вид:

$$
\begin{cases}
\ddot{\varphi}_1\left(W_4 \sin^2\varphi_2 + W_2 \sin^2\varphi_3 + W_6 + 2W_2 \sin\varphi_2 \cos\varphi_3\right) - I_1\ddot{\varphi}_4 \sin\varphi_3 + \\
\quad + \dot{\varphi}_1\left[\dot{\varphi}_2 W_4 \sin 2\varphi_2 + \dot{\varphi}_3 W_5 \sin 2\varphi_3 + 2W_2\left(\dot{\varphi}_2 \cos\varphi_2 \cos\varphi_3 - \right.\right. \\
\quad \left.\left. - \dot{\varphi}_3 \sin\varphi_2 \sin\varphi_3\right)\right] - I_1 \dot{\varphi}_3 \dot{\varphi}_4 \cos\varphi_3 = M_1 - \lambda_1 \dot{\varphi}_1 - M_{T1} \\
\ddot{\varphi}_2 W_7 + \ddot{\varphi}_3 W_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) - \dot{\varphi}_3^2 W_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) - \dot{\varphi}_1^2\left(W_4 \sin\varphi_2 \cos\varphi_2 + \right. \\
\quad \left. + W_2 \cos\varphi_2 \cos\varphi_3\right) = M_2 - \lambda_2 \dot{\varphi}_2 + \left(Q_{0g} - M_{Tope}\right)\sin\varphi_2 - M_{T2} \\
\ddot{\varphi}_3\left(W_3 + I_4\right) + \ddot{\varphi}_2 W_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) - \dot{\varphi}_1^2\left(W_5 \sin\varphi_3 \cos\varphi_3 - \right. \\
\quad \left. - W_2 \sin\varphi_2 \sin\varphi_3\right) + W_2 \dot{\varphi}_2^2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) + \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_4 I_4 \cos\varphi_3 = \\
\quad = M_3 - \lambda_3 \dot{\varphi}_3 + \left(W_2 / h_4\right) g \cos\varphi_3 - M_{T3} \\
\left(\ddot{\varphi}_4 - \ddot{\varphi}_1 \sin\varphi_3 - \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_3 \cos\varphi_3\right) I_4 = M_4 - \lambda_4 \dot{\varphi}_4 - M_{T4}
\end{cases}
\qquad (I)
$$

где $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7$ -константы, зависящие от собственных свойств робота; I_1, I_4 -моменты инерции отдельных звеньев; M_i - моменты двигателей; M_{Ti} - моменты сухого трения; λ_i - коэффициенты трения; $M_{торс}$ - момент, создаваемый торсионом.

Выведенные выражения кинетической энергии и обобщенных сил использованы при составлении уравнений движения ПР с одной степенью подвижности (остальные три заторможены):

а) при вращении ПР вокруг вертикальной оси Z :

$$\ddot{\varphi}_1 W_6 = M_1 - \lambda_1 \dot{\varphi}_1 - M_{T1} \; ; \qquad (2)$$

б) при качании ПР относительно нижней оси:

$$\ddot{\varphi}_2 W_7 = M_2 - \lambda_2 \dot{\varphi}_2 + (Q_0 g - M_{торк}) \sin\varphi_2 - M_{T2} \; ; \qquad (3)$$

в) при качании ПР относительно верхней оси:

$$\ddot{\varphi}_3 (W_3 + I_4) = M_3 - \lambda_3 \dot{\varphi}_3 + (W_2 / h_1) g \cos\varphi_3 - M_{T3} \; ; \qquad (4)$$

г) при вращении руки ПР вокруг своей оси:

$$\ddot{\varphi}_4 I_1 = M_4 - \lambda_4 \dot{\varphi}_4 - M_{T4} \qquad (5)$$

Моделирование динамики промышленного робота осуществлено численными методами с помощью универсальной программы МОДС (Моделирование и Оптимизация Динамических Систем), написанной на проблемно-ориентированном языке. Её основным достоинством служит простота входного языка, не требующая специальных навыков программирования. Уравнения движения ПР заменяются структурной схемой, построенной в предположении, что известны значения старших производных обобщенных координат $\ddot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_2, \ddot{\varphi}_3 \ddot{\varphi}_4$. Поэтому для получения решения достаточно выполнить два раза операцию интегрирования.

Использование МОДС позволило сократить в несколько раз не только время подготовки и отладки программы расчета, но и само время счета.

В результате моделирования получены временные диаграммы изменения обобщенных координат ПР, соответствующие его угловым перемещениям по каждой степени подвижности.

В третьей главе представлены методика и результаты экспериментального исследования угловых перемещений промышленного робота РПМ-25. В конструкции его манипулятора имеется жесткая кинематическая связь между вторым и третьим звеньями. В качестве датчиков перемещения, установленных в "шарниры" ПР, использованы проволочные

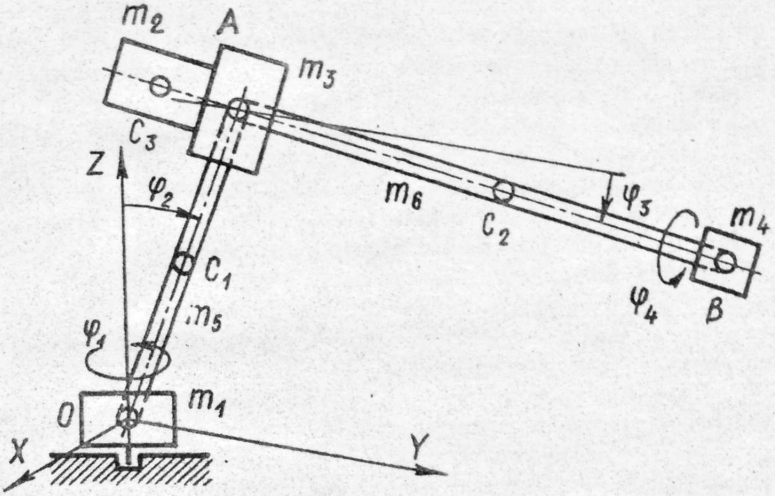

m2
A
m3
C3
Z
φ2
m6
C2
φ3
m4
C1
m5
φ4
B
φ1
O
m1
X
Y

Рис. I

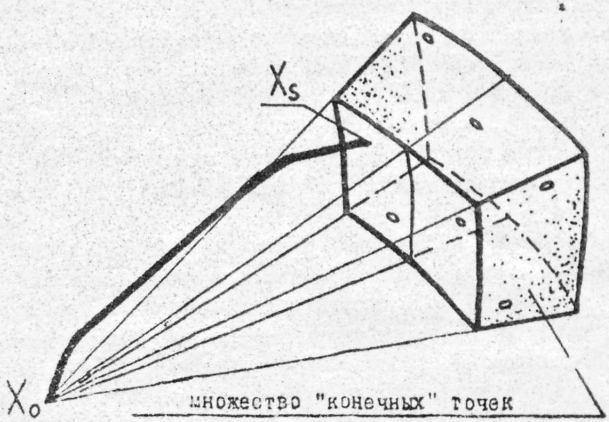

Xs
Xo
множество "конечных" точек

Рис. 2

прецизионные потенциометры серии ПЛП-11С. Контрольно-регистрирующей аппаратурой служили два двухкоординатных самописца типа 2301З и цифровой вольтметр фирмы "Брюль и Къер". Разработанный способ измерения, не нарушая целостность конструкции манипулятора, позволил получить достаточно высокую точность регистрации угловых перемещений ПР во времени.

Полученные временные диаграммы движения по каждой степени подвижности были сопоставлены с результатами машинного моделирования. Расхождения между ними по времени и характеру перемещений не превышают 5-8%, что подтверждает адекватность разработанной динамической модели ПР и дает возможность использования ее при решении поставленных в диссертационной работе задач оптимизации.

В четвертой главе разработано алгоритмическое обеспечение для оптимизации конструктивных параметров промышленных роботов с позиционной системой управления.

Сложность рассматриваемой задачи обусловлена тем обстоятельством, что расчет критериев оптимальности для роботов такого типа следует осуществлять не для одной конкретной траектории движения (опорной траектории), а для целого множества траекторий, имеющих конечные точки в сервисной зоне. В диссертации предложен способ оценки точности позиционирования и быстродействия робота, основанный на осреднении их значений по множеству "конечных" точек, равномерно распределенных в зоне обслуживания ПР, что составляет предмет научной новизны работы.

Другим важным аспектом поставленной задачи оптимизации является необходимость рассмотрения совокупности критериев оптимальности, так как требования, предъявляемые к промышленному роботу, носят противоречивый характер. С точки зрения качества функционирования ПР важно обеспечить его максимальные точность позиционирования и быстродействие. Вместе с тем, желательно сохранить максимальную грузоподъемность робота при снижении суммарной массы его узлов или модулей.

Таким образом, оптимизация конструктивных параметров промышленного робота связана с рассмотрением четырех критериев оптимальности: $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ – точности позиционирования, быстродействия, суммарной массы узлов и грузоподъемности. При этом первые два критерия определяются на основе расчетов, осуществляемых с учетом динамики ПР и достижения различных "конечных" точек в сервисной

зоне (рис. 2):

$$\Phi_1 = \frac{1}{L}\sum_{S=1}^{L} \Delta_S \; ; \qquad (6)$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{L}\sum_{S=1}^{L} T_S \; ; \qquad (7)$$

где Δ_S – точность позиционирования при обслуживании S-й точки сервисной зоны; T_S – время, затрачиваемое на перемещение ПР из начальной в S-ую точку зоны; L – число "конечных" точек в сервисной зоне.

Критерии Φ_3 и Φ_4 определяются непосредственно через оптимизируемые конструктивные параметры:

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^{6} m_i = Q_{ПР} \qquad (8)$$

$$\Phi_4 = \frac{\sum_{i=1}^{6} m_i}{p} \qquad (9)$$

где m_i – массы узлов ПР (оптимизируемые параметры); p – масса транспортируемого груза.

Параметрические ограничения имеют вид:

$$0{,}8\, m_i^{\circ} \le m_i \le 1{,}2\, m_i^{\circ} \qquad i = 1, \ldots 6 \qquad (10)$$

где m_i° – номинальные значения масс узлов ПР.

Кроме параметрических наложены еще функциональные ограничения на расходование мощности, значение которой не должно превышать соответствующих величин в паспортных данных двигателей:

$$\beta \sqrt{\int_0^T U_k(t)\, dt} \le W_{k\,паспорт}, \quad k = 1, \ldots, 4 \qquad (11)$$

где β – коэффициент пропорциональности; $U_k(t)$ – закон изменения управляющего воздействия, необходимого для перемещения робота из начальной точки в заданную; T – время, затрачивае-

мое на движение; $W_{k\ паспорт}$ - паспортные значения мощностей двигателей.

Сформулированная многокритериальная задача оптимизации решена в соответствии с методикой, разработанной Статниковым Г.Б. и Соболем И.М. Поиск компромиссных варинатов осуществлялся одновременно по четырем критериям на основе сканирования параллелепипеда, задаваемого ограничением (I0) в пространстве оптимизируемых параметров, реализованного с помощью ЛПτ -последовательностей.

При расчете критериев Φ_1, Φ_2 существенно то обстоятельство, что корректное сопоставление систем с различными наборами параметров (различными точками в шестимерном пространстве оптимизируемых масс) осуществимо только после оценки предельных возможностей каждого из вариантов, т.е. определения оценок предельно достижимых величин точности позиционирования и быстродействия при заданных фиксированных значениях масс m_i с учетом ограничений на мощности двигателей (II).

Решение поставленной задачи осуществлено на основе анализа линеаризованной системы дифференциальных уравнений движения ПР.

Для вычисления оценок времени быстродействия применена специально разработанная оригинальная вычислительная процедура, основанная на использовании соотношений, вытекающих из теории накопления возмущений Булгакова Б.В., метода моментов Красовского Н.Н, и неравенства Коши-Буняковского.

Записывая решение линеаризованной системы в форме интеграла Коши и далее условия попадания в заданную конечную точку в виде интегральных равенств (моментных соотношений), получены в результате вычисления оценок правых частей этих равенств (линейных функционалов от управляющих воздействий) неравенства:

$$\left|\bar{X}_i - \sum_{j=1}^{12} \varphi_{ij}(T) X_j(0) - \int_0^T M_i(t)\,dt\right| \le \sum_{k=1}^{4} \left[\int_0^T N_{ik}^2(t)\,dt\right]^{\frac{1}{2}} \beta\, W_{k\ паспорт}\ ; \qquad (12)$$

$$i = 1, \ldots, 12\ ,$$

где $\bar{X}_i$ -координаты заданной "конечной" точки сервисной зоны;

φ_{ij} – элементы фундаментальной матрицы $\Phi(t)$ однородной линейной системы; $M_i(t)$ – компоненты вектора $\Phi(t)\cdot f$; $N_{ik}(t)$ – элементы прямоугольной матрицы $\Phi(t)\cdot B$ (функции Грина).

Минимальное значение времени T, при котором все эти неравенства выполняются, дает оценку сверху времени оптимального быстродействия.

Погрешность позиционирования возникает, в первую очередь, в силу наличия динамических отклонений в каналах управляющих воздействий.

Оценка точности позиционирования осуществлена на основе вычисления отклонений угловых координат от расчетных вследствие аддитивных помех в каналах управлений.

Вычисление осуществлялось для момента, соответствующего найденной выше оценке времени максимального быстродействия для перевода системы в заданную конечную точку.

Для вычисления точности позиционирования в линейных величинах использовались формулы перехода от угловых координат к линейным, а суммарная погрешность рассчитывалась как геометрическая сумма погрешностей по каждой из трех координат:

$$X_\ell = (h_1 \sin\varphi_2 + h_2 \cos\varphi_3)\cos\varphi_1; \qquad (13)$$

$$Y_\ell = (h_1 \sin\varphi_2 + h_2 \cos\varphi_3)\sin\varphi_1; \qquad (14)$$

$$Z_\ell = h_1 \cos\varphi_2 - h_2 \sin\varphi_3 \qquad (15)$$

$$\delta_\Sigma = \sqrt{(\delta x_\ell)^2 + (\delta y_\ell)^2 + (\delta z_\ell)^2}, \qquad (16)$$

В пятой главе по разработанной методике осуществляется выбор оптимальных конструктивных параметров серийно выпускаемого модульного промышленного робота РПМ-25. Решение задачи состоит из нескольких этапов.

На первом этапе в качестве варьируемых параметров выбраны массы его основных узлов. Изменяя значения каждой из масс не более чем на 20% относительно номинальных значений, в пространстве параметров с помощью $\Lambda\Pi_\tau$ – поиска определены $N = 20$ вариантов конструктивных параметров ПР. Первый из них соответствует набору масс узлов робота с номинальными значениями.

На втором этапе осуществлено проведение машинного эксперимента по определению критериев качества для каждого пробного варианта с учетом выполнения функциональных ограничений. Для вычисления оценок точности позиционирования и быстродействия произведено сканирование $\Lambda\Pi_\tau$ – поиском сервисной зоны ПР и выбрано в ней $L = 20$ равномерно распределенных "конечных" точек. Входными данными работы программы расчета показателей

качества являются динамическая модель робота с численными значениями всех констант и координаты " конечных " точек. Время расчета для одного набора значений варьируемых параметров на ЭВМ ЕС-1022 составляет 90... 110 минут.

На третьем этапе по результатам машинного эксперимента составлены таблицы испытаний, подлежащие экспертному анализу.

Этот анализ произведен на четвертом, заключительном этапе. Следует отметить, что среди просчитанных вариантов не оказалось такого, для которого все рассматриваемые критерии имели бы лучшие значения по сравнению с исходными.

Однако выделено несколько компромиссных вариантов, в которых при незначительном снижении (на 1 - 3 %) одного из критериев можно достичь достаточно ощутимого улучшения других (на 15 - 30 %).

В зависимости от конкретного технологического процесса, в котором планируется использование указанного робота, возможен выбор оптимальных конструктивных размеров его узлов с точки зрения снижения общей массы манипулятора и улучшения одного (самого значимого) показателя качества. Такой подход особенно важен для модульных промышленных роботов.

Программируемые модули как "кирпичики" можно собрать в любые конфигурации, используя лишь те их типоразмеры, которые необходимы для осуществления данного технологического процесса.

Важным аспектом проводимых оптимизационных исследований является установление влияния различных значений масс узлов промышленного робота на показатели качества его функционирования: точность позиционирования и быстродействие. Построенные на основе специально спланированных машинных экспериментов регрессионные зависимости представлены в виде мультипликативных моделей:

$$\Delta = e^{-4,5946}\, m_2^{0,3234}\, m_3^{0,1109}\, m_5^{0,2279}\, m_6^{0,0293} \qquad (17)$$

$$T = e^{1,3088}\, m_2^{-0,0795}\, m_3^{-0,01299}\, m_5^{-0,04085}\, m_6^{0,00945} \qquad (18)$$

Полученные модели имеют перед линейными ряд преимуществ. Во-первых, они отражают нелинейное влияние исследуемых факторов (масс узлов) на показатели качества, во - вторых, они позволя-

ют учесть взаимодействие нескольких факторов, поэтому более адекватно отражают истинный характер зависимостей.

Ошибка аппроксимации по $\bar{T}$ и Δ составила соответственно I,4 % и 2 %, что свидетельствует о достаточно высокой точности регрессионных моделей.

Анализ полученных зависимостей дал возможность получить рекомендации по усовершенствованию конструкции манипулятора РПМ-25.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. Разработана динамическая модель, описывающая движение промышленного робота при наличии в его конструкции жесткой кинематической связи между отдельными звеньями, использование которой позволяет оценить динамические характеристики ПР на стадии проектирования.

2. Для конкретной модели робота РПМ-25 произведено с помощью ЭВМ исследование точности позиционирования, быстродействия и грузоподъемности. При моделировании динамики ПР использован проблемно-ориентированный язык системы МОДС (Моделирование и Оптимизация Динамических Систем), позволяющий сократить не только время подготовки и отладки программы, но и само время счета.

3. Выполнены специальные экспериментальные исследования, подтверждающие адекватность разработанной динамической модели.

4. Произведена оценка показателей качества промышленного робота с позиционной системой управления, основанная на осреднении их значений по множеству "конечных" точек, равномерно распределенных в сервисной зоне ПР.

5. Получены регрессионные зависимости точности позиционирования и быстродействия ПР от значений масс его основных узлов. Анализ моделей дает возможность оценить влияние конструктивных параметров на показатели качества промышленного робота.

6. Исследована возможность совершенствования манипулятора серийно выпускаемого модульного робота РПМ-25 и установлено, что за счет более рационального распределения масс его узлов возможно улучшение динамических характеристик ПР при снижении общей массы манипулятора.

7. Полученные в ходе исследований материалы использованы

при модернизации конструкции манипулятора РПМ-25, что сократило сроки поиска оптимального варианта в 1,5 раза. Использование предложенного экспериментального метода исследования ПР позволило сократить длительность испытаний робота на безотказность.

Основные положения и результаты диссертации отражены в следующих работах:

I. Егорова О.В. Методы снижения металлоемкости промышленных роботов. – Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении с применением промышленных роботов и манипуляторов : Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции. – – Ташкент, 1983, с.59–60.

2. Егорова О.В. Моделирование динамики промышленного робота на ЭВМ. – Автоматизация процессов подготовки производства в машиностроении: Тезисы докладов республиканского научно-практического семинара. Ч.II. – Фрунзе, 1983, с. 12–13.

3. Егорова О.В. Математическое описание и моделирование динамики промышленного робота с жесткой кинематической связью между отдельными звеньями. – Состояние, опыт и направление работ по комплексной автоматизации производства на основе гибких автоматизированных производств, робототехнических комплексов и промышленных роботов: Тезисы докладов областного научно-технического семинара. – – Пенза, 1984, с. 52–54.

4. Егорова О.В. Разработка динамической модели ПР с жесткой кинематической связью между отдельными звеньями. – Механизация и автоматизация производства, 1984, № 4, с. 17–18.

5. Егорова О.В. Выбор оптимальных параметров промышленных роботов. – III всесоюзное совещание по робототехническим системам: Тезисы докладов. – Воронеж, 1984, ч.IУ, с.27–28.

6. Испытания промышленных роботов с электромеханическим приводом на ресурс и разработка методик ускоренных и нормальных испытаний. Раздел: Оценка основных характеристик и безотказности РПМ-25. Научно-технический отчет/ Руководитель темы: Д.А. Шушко, исполнитель раздела: О.В.Егорова, ГР У90657, инв. № 1997, М., 1984, с. 68–92.

7. Испытания промышленных роботов с электромеханическим приводом на ресурс и разработка методик ускоренных и нормальных ис-

пытаний. Раздел: Разработка пакета программ автоматизированного выбора оптимальных конструктивных параметров промышленных роботов. Приложение № 5. - Научно-технический отчет/ Руководитель темы: Д.А.Шушко, исполнитель раздела: О.В.Егорова, ГР У90657, инв. № I997, М., I984, 2I с.

Подп. к печ.II.II.84г. Заказ 1536 Объем I п.л. Тираж I00 экз.
Типография МВТУ, I07005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5
ЭЛ - 83483

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА