

М 407627

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

На правах рукописи

МОСКВИН Валерий Константинович

УДК 62-523.3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРО-
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА УСТРОЙСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ЗАГРУЗКИ ШТУЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ В СТАНОЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ С ЧПУ

Специальность 05.02.07 - Автоматизация в машиностроении

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1983

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

- Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент КУЗНЕЦОВ М.М.
- Официальные оппоненты - заслуженный деятель науки и
техники РСФСР,
доктор технических наук,
профессор КАМЫШНИЙ Н.И.
- кандидат технических наук,
доцент ПЛУЖНИКОВ А.И.
- Ведущее предприятие - указано в решении
специализированного Совета

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1983г.
на заседании специализированного Совета К 053.15.01 МВТУ
им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, Б-5, 2-я Бауманс-
кая ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в 1-м экземпляре, заверенный
печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н.Э.Баумана.

Автореферат разосла

Ученый секретарь
специализированного Совета
кандидат технических наук
доцент

Л-99521 001
Ротопринт МВТУ, 107005,

М 407627

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

на XXVI съезде КПСС, а также в программном документе ЦК КПСС "Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981-85 годы и на период до 1990 года" перед советскими машиностроителями поставлена одна из главных задач одиннадцатой пятилетки - комплексная автоматизация производственных процессов, которая ставит целью автоматизировать весь технологический цикл от получения сырья до отгрузки готовой продукции.

Актуальность работы. В станкостроительной и инструментальной промышленности одним из наиболее эффективных путей комплексной автоматизации является организация серийного производства машин нового технологического класса - автоматических манипуляторов с программным управлением, известных под названием промышленных роботов (ПР).

В серийном и мелкосерийном производстве автоматизация основных технологических процессов находится на высоком уровне за счет использования станков с ЧПУ. Наряду с этим, вспомогательные операции (установка и съём изделий, транспортировка) почти или полностью не автоматизированы. Важная роль в решении этой проблемы принадлежит промышленным роботам.

Растущие потребности производства требуют не только количественного роста выпуска, но и качественного совершенствования роботов и их элементов. В связи с этим, решение вопросов разработки и исследования новых более совершенных и надежных приводов ПР, удовлетворяющих повышенным требованиям, является весьма актуальной задачей.

Целью работы является обоснование и выбор линейного шатрового электрогидравлического привода руки промышленного робота для загрузки токарных станков с ЧПУ и разработка методики расчета его статических и динамических характеристик.

Методы исследований. В работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования проводились на основе использования современного математического аппарата с применением ЭВМ. Теоретические исследования подтверждены экспериментально. Для проведения экспери-

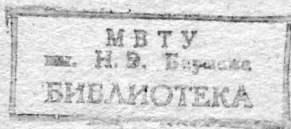
I.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1407627

Москва В.К. Научно-технич



ментальных исследований были спроектированы и изготовлены установка и опытный образец привода. Исследования проводились индукционными и тензометрическими методами с использованием высокоточной регистрирующей аппаратуры.

Научная новизна. Теоретически обоснован выбор линейного шагового электрогидравлического привода (ЛШЭГП) руки ПР для токарного роботизированного технологического комплекса на основе анализа сформулированных требований. Определены рациональные области применения электрогидравлических приводов ПР по параметрам грузоподъемности, скорости, точности позиционирования. Разработана методика математического моделирования привода ПР. Получены теоретические зависимости основных параметров привода.

Практическая ценность. Составлены алгоритмы и программа расчета переходной функции привода ПР с целью обоснования его выбора. На основании теоретических и экспериментальных исследований создан новый линейный шаговый электрогидравлический привод ПР для токарного РТК. Предложен метод расчета статических и динамических характеристик привода. С целью совершенствования привода разработан самоподнастраивающийся линейный шаговый электрогидравлический привод (з.о. № 735832).

Реализация работы. Работа является частью научно-исследовательских работ, выполненных на кафедре "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана. Результаты работы внедрены в производство. Методика выбора типа привода использована при разработке структуры РТК. Внедрение разработанного привода ПР позволяет получить экономический эффект в расчете на один РТК, состоящий из одного ПР и трех станков с ЧПУ около 2,5 тыс. рублей в год.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Гидро- и пневмоприводы, применяемые в автоматических манипуляторах с программным управлением" (г. Краснодар, 1975 г.), Научно-технической конференции молодых специалистов (Москва, СМЛ, 1977 г.), Всесоюзном научно-техническом совещании "Повышение ресурсов и расширение функциональных задач гидравлических и пневматических приводов, используемых при автоматизации

производства и повышения качества продукции" (г. Запорожье, 1977 г.), Юбилейной Всесоюзной межвузовской конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов, управление качеством в машиностроении и приборостроении" (г. Москва, 1979 г.), Научно-техническом совещании на 3-де АТУ-2 (г. Москва, 1980 г.).

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 9 печатных работ и получено одно авторское свидетельство.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и общих выводов, содержит 149 страниц машинописного текста, 87 рисунков, 27 таблиц, список литературы 79 наименований и приложение.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований.

Первая глава "Анализ приводов промышленных роботов для автоматизации операций загрузки-выгрузки на токарных станках с ЧПУ" посвящена вопросам обоснования применения ПР для автоматизации операций установки и съема изделий на токарных станках с ЧПУ, компоновки РТК, анализу требований к приводам ПР, определению областей применения приводов различных типов по показателям грузоподъемности, скорости, точности позиционирования, а также анализу существующих электрогидравлических приводов ПР с точки зрения удовлетворения сформулированным требованиям.

На основании анализа статистических данных обработки деталей типа валов выявлена типовая деталь, принятая за объект манипулирования, имеющая следующие весовые и размерные параметры: масса - 30...50 кг; длина $l = 200...400$ мм; диаметр $D_{max} = 100$ мм.

Для определения целесообразности автоматизации обработки типовой детали на токарном станке с ЧПУ с помощью робота на основе теории производительности проведен сравнительная оценка двух вариантов обработки: 1 - с помощью механического загрузочного устройства; 2 - с помощью ПР.

В результате оценки и построения баланса производитель-

ности выявлено, что использование робота дает выигрыш в цикловой производительности на 9,3%. Кроме этого достигается эффект за счет снижения себестоимости обработки изделий, снижения затрат на зарплату станочника, снижения брака и других показателей. Для повышения коэффициента использования робота рассмотрен вопрос многостаночного обслуживания и компоновки РТК.

На основе анализа условий работы привода в ПР выявлен инерционный характер нагрузки на исполнительном органе привода. Учитывая требования получения максимальной производительности РТК, надежной работы, а также анализируя различные варианты законов движения захвата в процессе разгона и торможения, были сформулированы основные требования, которым должен удовлетворять привод робота. Параметры привода были разбиты на входные и выходные. Входные параметры — это параметры, диктуемые приводу конструктивными особенностями станка (компоновка и размеры рабочей зоны, конструкция элементов базирования, зажимного механизма и т.д.), требованиями получения максимальной производительности и надежности работы. Выходные параметры — те параметры, которыми должен обладать привод в соответствии с диктуемыми ему требованиями.

Входные параметры: 1. G — грузоподъемность, определяемая массой изделия; 2. — V_3 — скорость перемещения захвата в рабочей зоне, определяемая требованиями получения Q_{max} ; 3. A — ускорения при разгоне и торможении, определяемые требованиями получения Q_{max} и пределом прочности конструкции; 4. — Δ — точность позиционирования, определяемая конструктивными особенностями элементов зажима и базирования станка.

Выходные параметры: 1. $M_{пр}$ — приведенная масса, учитывающая инерционный характер нагрузки; 2. V_n — скорость исполнительного органа привода ($V_n = V_3 \cdot i$, где i — передаточное отношение кинематических звеньев руки робота); 3. — t_n — время переходного процесса; 4. — δ — точность позиционирования исполнительного органа привода, определяемая с учетом податливости элементов конструкции руки. Одним из основных параметров, влияющих на все остальные, является грузоподъемность G .

На основе анализа статистических данных определены области применения приводов ПР различных типов по основным параметрам. Выявлено, что для загрузки-выгрузки типовой детали должен быть применен робот, оснащенный электрогидравлическими приводами, обеспечивающими надежную работу при загрузке изделий с массой 50 кг и выше со скоростями 0,8...1,5 м/с при точности позиционирования $\pm 1,5$ мм.

Обзор существующих электрогидравлических приводов с точки зрения обеспечения заданным требованиям подтверждает правильность сделанных выводов.

Во второй главе "Синтез приводов промышленных роботов, входящих в состав роботизированного технологического комплекса для обработки тел вращения", рассмотрены вопросы теоретического обоснования выбора типа привода ПР на базе разработки структурной схемы и математической модели обобщенного привода ПР, составления алгоритма и программы расчета переходной функции привода ПР на ЭВМ с целью проведения сравнительной оценки вариантов приводов и схемной реализации.

Для сокращения затрат времени на выбор более предпочтительного варианта привода ПР разработана универсальная динамическая модель привода ПР, которая с помощью подбора служебных коэффициентов приводится к математической модели привода конкретного исполнения.

Структурная схема обобщенного привода ПР представлена на рис. 1.

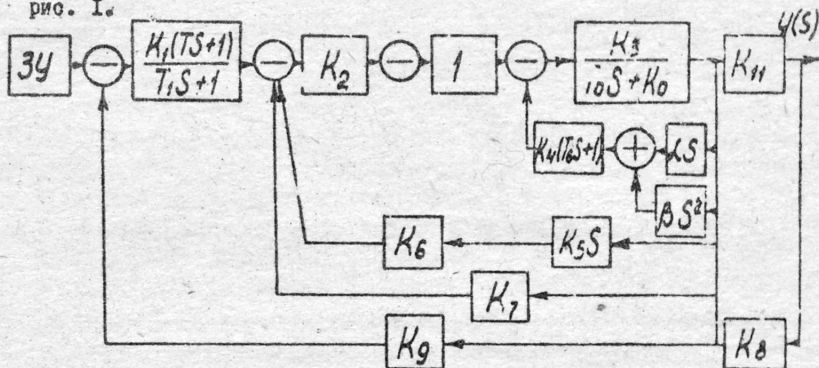


Рис. 1

Передаточная функция $\varphi(S)$ замкнутого привода ПР, полученная по структурной схеме обобщенного привода, имеет следующий вид:

$$\varphi(S) = \frac{B_0 S + B_1}{A_1 S^5 + A_2 S^4 + A_3 S^3 + A_4 S^2 + A_5 S + A_6}; \quad (1)$$

Перед решением этого дифференциального уравнения необходимо проверить привод на устойчивость. Старший определитель Гурвица для нашего случая имеет вид:

$$\begin{vmatrix} A_2 & A_4 & A_6 & 0 & 0 \\ A_1 & A_3 & A_5 & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & A_4 & A_6 & 0 \\ 0 & A_1 & A_3 & A_5 & 0 \\ 0 & 0 & A_2 & A_4 & A_6 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Условия устойчивости получаем в виде:

$$(A_2 A_3 - A_1 A_4)(A_4 A_5 - A_3 A_6) - (A_2 A_5 - A_1 A_6)^2 > 0; \quad (3)$$

$$A_5(A_3 A_4 - A_2 A_5) - A_6 A_3^2 > 0; \quad (4)$$

$$A_4 A_5 - A_3 A_6 > 0; \quad (5)$$

При условии удовлетворения условия устойчивости переходную функцию получаем в виде:

$$A_1 \frac{d^5 y}{dt^5} + A_2 \frac{d^4 y}{dt^4} + A_3 \frac{d^3 y}{dt^3} + A_4 \frac{d^2 y}{dt^2} + A_5 \frac{dy}{dt} + A_6 y = B_0 \frac{dy}{dt} + B_1 g; \quad (6)$$

Упрощенный алгоритм расчета переходной функции привода ПР согласно математической модели, включающей уравнения (3)... (6) показан на рис. 2.

Решение программы идет только в том случае, если привод оказывается устойчив. Окончание интегрирования дифференциального уравнения производится либо по времени окончания интегрирования t_k , либо по величине времени переходного процесса t_n .

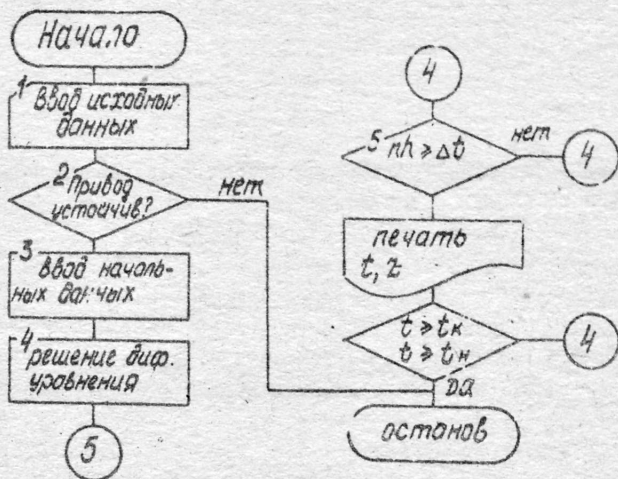


Рис. 2.

(когда переходная функция войдет в зону допустимых отклонений регулируемой величины $\pm 5\%$).

После расчета переходных процессов приводов различных типов учитывая сформулированные требования к приводу, а также экономические факторы, сопоставляя показатели качества переходных процессов сравниваемых вариантов, наиболее приемлемым вариантом был признан шаговый электрогидравлический привод.

Анализ геометрических параметров рабочих зон токарных станков с ЧПУ нормальных типоразмеров с горизонтальной осью, а также вариантов систем координат, в которых может работать робот, показал перспективность привода на базе линейного исполнительного органа, поскольку, во-первых, на длинных перемещениях до 1,5 м влияние сжимаемости жидкости на точность позиционирования будет пренебрежительно мало, и во-вторых, непо-

средоточенное соединение штока гидроцилиндра с элементами захвата позволяет устранить беззаконные передаточные механизмы (редуктор, шарико-винтовую передачу и т.д.).

В результате анализа вариантов схемных реализаций линейных шаговых электрогидроприводов была синтезирована схема привода, работающего на основе дискретного задания команд и построенного на базе шагового задатчика с вращающейся втулкой, с симметричной схемой управления и линейным исполнительным механизмом.

В третьей главе "Теоретические исследования линейного шагового электрогидравлического привода руки промышленного робота для токарного роботизированного технологического комплекса" рассматриваются вопросы теоретических исследований привода ПР в статических и динамических режимах. На основе расчетных схем разработана математическая модель, описывающая поведение привода на участках разгона, торможения и при установившейся скорости. Выведены зависимости основных параметров гидроусилителя от входного воздействия. Определены постоянные времени, коэффициенты демпфирования, передаточные функции всех звеньев, исследовано взаимовлияние входных и выходных параметров привода. Привод исследован на устойчивость.

Силовая характеристика привода в безразмерном виде, полученная с учетом симметричности схемы управления, имеет следующий вид:

$$L_p = \frac{a_2^2 b_2^2 - a_1^2 b_1^2}{(a_1^2 b_1^2 + 1)(a_2^2 b_2^2 + 1)}; \quad (7)$$

где:

$$a_1 = \frac{G_{30}}{G_1}; \quad a_2 = \frac{G_{40}}{G_2}; \quad G_{1,2} = \mu_{1,2} \cdot \frac{\pi d_{1,2}^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}};$$

$$G_{3,40} = \mu_{3,4} \pi x_0^2 \sqrt{\frac{2}{\rho}}; \quad b_{1,2} = f(I);$$

- коэффициенты

открытия переменных дросселей; I - входное воздействие.

Исследование силовой характеристики на экстремум показав-

до, что максимальная чувствительность гидроусилителя получается при $A = 2$.

Коэффициент усиления по давлению K_p для момента начала смешения отверстий относительно нейтрального положения кромок винта (при $a_1 = a_2 = a$) определится из выражения:

$$\left. \frac{dL_p}{dL_x} \right|_{\substack{L_Q=0; \\ L_x=0;}} = \frac{1,29A^2}{(A^2+4)^2}; \quad (8)$$

В момент начала действия сигнала управления коэффициент усиления по расходу K_Q :

$$K_Q = \left. \frac{dL_Q}{dL_x} \right|_{\substack{L_p=0; \\ L_x=0;}} = \frac{2}{A^2}; \quad (9)$$

Из (7), (8) и (9) видно, что относительная проводимость переменных и постоянных дросселей "A" имеет непосредственное влияние на крутизну силовой и скоростной характеристик и соответственно, на чувствительность и скоростные качества привода, что говорит о важности правильного выбора параметров постоянных и переменных дросселей.

Обобщенная статическая характеристика, показывающая характер взаимовлияния параметров $L_Q; L_p; L_x$, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} L'_p = 2 \left\{ \frac{\alpha_1^2}{\beta_1^2} \left[1 + \frac{\alpha_1^2 - (L_Q^2 - 1)\beta_1}{\alpha_1} \right] - \frac{\alpha_2^2}{\beta_2^2} \left[1 + \frac{\alpha_2^2 - (L_Q^2 - 1)\beta_2}{\alpha_2} \right] \right\} - \frac{(L_Q^2 - 1)(\beta_2 - \beta_1)}{\beta_1 \beta_2}; \\ L''_p = 2 \frac{\alpha_2^2}{\beta_2^2} \left[\frac{\alpha_2^2 - (L_Q^2 - 1)\beta_2}{\alpha_2} \right] + \frac{\beta_2 + (L_Q^2 - 1)\beta_1}{\beta_1 \beta_2}; \\ L'''_p = 2 \frac{\alpha_1^2}{\beta_1^2} \left[1 - \frac{\alpha_1^2 - (L_Q^2 - 1)\beta_1}{\alpha_1} \right] - \frac{(L_Q^2 - 1)\beta_2 + \beta_1}{\beta_1 \beta_2}; \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} L_x \geq 0; L_Q \geq 0; \\ L_x \leq 0; L_Q \leq 0; \\ (10) \\ L_x \geq 0; L_Q \leq 0; \\ L_x \leq 0; L_Q \geq 0; \end{array}$$

где: $\alpha_{1,2} = Lq a_{1,2} b_{1,2}$; $\beta_{1,2} = a_{1,2}^2 b_{1,2}^2 + 1$;

$$Lq = \frac{Q}{G_{1,2} \sqrt{\rho_H}} ;$$

Из системы уравнений (10) видно, что обобщенная статическая характеристика привода имеет определенную область существования параметров при соответствующих начальных условиях. Эти области справедливы в силу физики процессов, происходящих в схеме гидравлического моста.

Наиболее ответственными участками траектории являются участки разгона и торможения, поскольку вследствие наличия интенсивных инерционных сил привод нагружается на них наибольшим образом. Показатели качества переходных процессов характеризуют качество функционирования привода, его устойчивость, точность, быстродействие.

Разработанная динамическая математическая модель привода на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений после их линеаризации и преобразования Лапласа позволила получить передаточные функции звеньев привода, определить их постоянные времени T_i и коэффициенты демпфирования. Структурная схема привода показана на рис. 3.

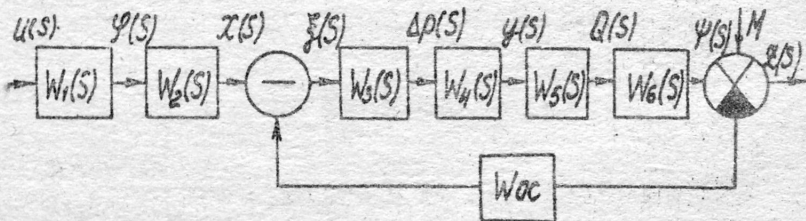


Рис. 3.

Передаточная функция замкнутого привода ПР имеет вид:

$$\Phi(s) = \frac{Z(s)}{U(s)} =$$

K_7

$$= \frac{(T_1^2 S^2 + 2T_1 T_5 + 1) [S(T_4^2 S^2 + 2T_4 T_5 + 1)(T_6^2 S^2 + 2T_5 T_6 S + 1) + K_8]}{(11)}$$

где: $K_7 = K_2 K_3 K_4 K_{5+6}$; $K_8 = K_3 K_4 K_{5+6}$;

Исследование привода на устойчивость показало, что привод устойчив на всем рабочем диапазоне скоростей и нагрузок:

В четвертой главе "Экспериментальные исследования линейного шагового электрогидравлического привода руки промышленного робота для токарного роботизированного технологического комплекса", описана конструкция экспериментальной установки и аппаратуры, изложена методика экспериментальных статических и динамических исследований, приводятся результаты экспериментальных исследований, по статике, динамике, а также точности позиционирования, представлены рекомендации по совершенствованию привода.

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен опытный образец привода, который управлялся серийным шаговым электродвигателем ШД-5ДИМ-УЗ от системы ЧПУ Н22-1М. Специально спроектированный стенд позволил вести исследования в статических и динамических режимах. Для исследований использовались датчик положения, индуктивный датчик скорости, тахогенератор, датчики давления тензометрического типа и серийная измерительная и регистрирующая аппаратура, с помощью которой записывались осциллограммы изменения скорости исполнительного органа в функции времени, давления в различных точках гидроусилителя и другие данные.

В результате экспериментальных исследований были получены статические нагрузочная характеристика $Q = f(\Delta p)$, регулировочные характеристики по расходу $Q = f(x)$ и давлению.

Эксперимент показал, что более жесткая зависимость статических характеристик наблюдается при меньших значениях входных воздействий X , что полностью согласуется с теоретическими выводами. Эти характеристики позволяют подобрать оптимальные параметры гидроусилителя. Основные параметры статических характеристик: наибольший расход в диапазоне второго каскада $Q_{max} = 20,7 \times 10^{-5} \text{ л/с}$; нелинейность - 6%;

коэффициент усиления по расходу $K_Q = 41,4 \times 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$; зона нечувствительна эти $X_{3.Н} = 1\%$; несимметрия - 4,8%; смещение нуля - 0,3% и другие, полученные в результате обработки экспериментальных данных, показывают, что опытный образец привода, рассчитанный по уравнениям математической модели, удовлетворяет предъявляемым требованиям. Склонение результатов эксперимента от расчетных данных составляет 2,7...4%, что свидетельствует о пригодности методики расчета для практических целей.

Динамические свойства привода изучались по показателям качества переходных процессов по скорости и давлению на участках разгона и торможения. Осциллограммы снимались при различных значениях подач в диапазоне от 0,2 до 1,0 м/с. Из сравнения результатов теоретических данных, полученных в результате расчета программы **ROBOT 1** на ЭВМ и экспериментальных данных видно, что сходимость результатов составляет (5...10)%, что говорит о правомерности теоретических выводов.

Погрешность позиционирования определялась методом статистической оценки при многократных двухсторонних подходах в различных точках. Для возможности сравнения были выведены теоретические зависимости точности позиционирования захвата с учетом деформации отдельных звеньев, контактной жесткости в стыках, сжимаемости рабочей жидкости. Деформация системы захватного органа ПР по трем координатам определится из следующих выражений:

$$\sigma_{x,y} = \frac{G\ell^3}{2EJ} + \sqrt{\ell^2 - \left(\frac{G\ell^3}{3EJ}\right)^2} + \frac{\ell}{2} \left(1 - \frac{2\rho}{E_y}\right) - \sqrt{2,25\ell^2 - (2\Delta - 1)^2}; \quad (12)$$

$$\sigma_z = -\sqrt{2\left[2\ell^2 - \left(\frac{G\ell^3}{2EJ}\right)^2\right] + 2(2\Delta + 1)}; \quad (13)$$

где: G - вес изделия; ℓ - длина звеньев руки; E - модуль упругости звена руки; J - момент инерции звеньев руки; ρ - давление; E_y - модуль упругости рабочей

жидкости; Δ - зазор в стыках.

Экспериментальная погрешность позиционирования с учетом нормального закона распределения имеет значение $\sigma = 328$ мкм (расчетное - 497 мкм).

Экспериментальные исследования позволили выявить конструктивные недостатки в опытном образце привода и наметить конкретные мероприятия по их устранению (улучшенную конструкцию опор втулки шагового задатчика, устройство для автоматической выборки люфтов, новый вариант подвода жидкости к управляющей втулке). Учитывая, что привод ИР работает в условиях разных по величине знакопеременных нагрузок и ускорений при инерционном характере нагрузки на участках разгона и торможения, а также меняющихся массы изделия и вылетах звеньев руки, с целью повышения надежности работы был разработан самодиагностирующийся линейный шаговый электрогидравлический привод (а.с. № 735832), основной отличительной особенностью которого является корректирующее устройство, вырабатывающее сигнал коррекции при изменении нагрузки на рабочем органе.

В пятой главе "Расчет экономической эффективности внедрения линейного шагового электрогидравлического привода руки промышленного робота для токарного роботизированного технологического комплекса" приводится расчет экономического эффекта внедрения ЛШЭГП в РТК на базе одного ИР и трех токарных станков с ЧПУ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основании проведенного анализа условий работы, характера нагрузок, а также требований обеспечения максимальной производительности и надежности сформулированы основные требования к приводу руки промышленного робота токарного роботизированного технологического комплекса. Определены области применения приводов различных типов по показателям грузоподъемности, скорости, точности позиционирования.

2. Предварительная оценка условий работы привода промышленного робота при загрузке-выгрузке изделий типа валов с указанными весовыми и геометрическими параметрами ($G=30...50$ кг, $D_{\text{ш}}=100$ мм, $L_{\text{ст}}=200...400$ мм) показала целесообразность применения электрогидравлического привода.

3. Разработаны математическая модель и структурная схема обобщенного привода промышленного робота, позволяющие исследовать приводы различной структуры и сложности.

4. Составлены алгоритм и программа расчета переходной функции привода на ЭВМ, позволяющие производить сравнительную оценку вариантов приводов по показателям качества переходного процесса.

5. На основании сравнительной оценки приводов с помощью ЭВМ и анализа схемных реализаций синтезирован линейный шаговый электрогидравлический привод на базе шагового задатчика с вращающейся втулкой с симметричной схемой управления и линейным исполнительным механизмом.

6. На основании математической модели обобщенного привода промышленного робота разработана математическая модель линейного шагового электрогидравлического привода, позволяющая исследовать поведение привода в статических и динамических режимах. В результате теоретических исследований выявлен характер влияния физических и геометрических параметров элементов первого и второго каскадов гидроусилителя на выходные параметры привода.

7. Разработанные методики обоснования требований, теоретического обоснования выбора типа привода и расчета приняты к использованию на производстве.

8. На основе разработанной методики расчета основных характеристик и определения параметров создан новый привод промышленного робота для загрузки деталей типа валов с указанными весовыми и геометрическими параметрами, отвечающий предъявляемым требованиям. Привод внедрен в промышленность.

9. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований в пределах 5...10% говорит о правоте теоретических выводов и возможности применения приведенной методики для инженерных расчетов.

В качестве варианта совершенствования опытного образца привода разработан самоподнастраивающийся ЛШЭГП, защищенный авторским свидетельством.

10. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения ЛШЭГП в качестве привода робота, входящего в состав РТК из трех станков с ЧПУ составляет 2,5 тыс. рублей.

14.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А.С. 735832 (СССР). Самоподстраивающийся линейный шаговой электрогидравлический привод. / М.М.Кузнецов, В.В.Додонов, В.К.Москвин, Г.Н.Васильев - Оpubл. в Б.И., 1980, № 19.

2. Кузнецов М.М., Москвин В.К. Исследование линейного шагового электрогидропривода робота токарного полуавтомата. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1978, " 7. - с. 166-170.

3. Кузнецов М.М., Москвин В.К. Линейный шаговый электрогидравлический привод промышленного робота. - Машины. Приборы. Стенды. Каталог. - М.: МВТУ, 1978. - с. 16.

4. Кузнецов М.М., Москвин В.К., Никулин Ю.В. Электрогидравлические шаговые приводы подачи для увеличения производительности и надежности металлорежущих станков - Тезисы докладов У Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции, посвященной 150-летию МВТУ им. Баумана. - М.: МВТУ, 1979. - с. 62-64.

5. Кузнецов М.М., Москвин В.К. Линейный шаговый электрогидравлический привод. - Научно-технический реферативный сборник. - М.: 1980, выпуск 5. - с. 6-8.

6. Кузнецов М.М., Москвин В.К. Стенд для исследования линейных шаговых электрогидравлических приводов. - Машины. Приборы. Стенды. Каталог. - М.: МВТУ, 1982. - с. 38-39.

7. Москвин В.К. Исследование линейных шаговых электрогидравлических приводов промышленных роботов. - Гидравлические и пневматические приводы, применяемые в автоматических манипуляторах с программным управлением (промышленных роботах): Тез. докл. Всесоюзного н.-т. семинара. - Краснодар, 1975. - с. 23-25.

8. Москвин В.К. Исследование шагового электрогидравлического привода промышленного робота. - Повышение ресурса и расширение функциональных задач гидравлических и пневматических приводов, используемых при автоматизации производства и повышении качества продукции.: Тез. докл. Всесоюзного совещания. - Запорожье, 1977. - с. 44-50.

9. Москвин В.К. Расчет статических характеристик линейного гидравлического электрогидропривода манипулятора. - Труды МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1982, вып. 379, с. 89-93.

10. Совершенствование конструкций следящих приводов систем программного управления, используемых при автоматизации станков./ М.М.Курцев, В.П.Бондаренко, В.К.Москвин и др. - Тез. докл. IV всесоюзной межвузовской научно-технической конференции. - М.: МВТУ, 1975, - с. 31-34.

Звон

