

М334312

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

Е Г О Р О В Михаил Матвеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТРУКТУРНОГО ЛИНЕЙНОГО
ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ПОДАЧИ
ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

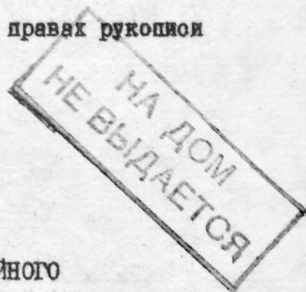
(05.03.01 - Процессы и машины обработки материалов
резанием; автоматические линии)

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

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ЕГОРОВ Михаил Матвеевич



ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТРУКТУРНОГО ЛИНЕЙНОГО
ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ПОДАЧИ
ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

(05.03.01 - Процессы и машины обработки материалов
резанием; автоматические линии)

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



Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - кандидат технических наук,
доцент КУЗНЕЦОВ М.И.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ - доктор технических наук,
профессор БЕЛОВ Б.И.
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
МАКАРОВ Л.Л.

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ - Н П О Э Н И М С

Защита диссертации состоится " " 1978 года
на заседании специализированного Совета по технологии машино-
строения, шифр К-053.15.15 МВТУ им.Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ име-
ни Н.Э.Баумана.

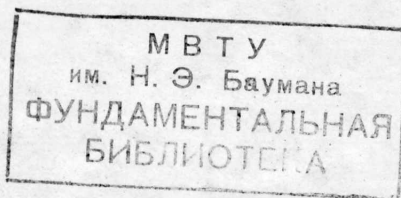
Ваши отзывы и предложения на автореферат в двух экземпля-
рах, заверенные печатью, прошу направлять по указанному адре-
су.

Автореферат разослан " " 1978 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
кандидат технических наук,
доцент

Р.К. Мещеряков

МЕЩЕРЯКОВ Р.К.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальность проблемы. Особенностью дальнейшего развития машиностроения в десятой пятилетке является улучшение качества выпускаемой продукции при неуклонном повышении производительности труда. Обеспечению указанных требований в значительной степени способствует широкое использование станков с программным управлением. В этой связи большое значение приобретают вопросы проектирования и создания новых и совершенствования существующих станков, разработка методов расчета, особенно тех элементов, которые непосредственно влияют на параметры качества деталей и производительность в процессе обработки.

Важное место в ряду станков с программным управлением принадлежит фрезерным станкам, на которых осуществляется обработка деталей сложной формы. Точность обработки на фрезерных станках с программным управлением в значительной степени зависит от привода подачи, который должен обладать высокими статическими и динамическими характеристиками. Большая номенклатура деталей, изготавливаемых из различных материалов, неравномерность распределения припуска по поверхности обрабатываемой детали, достигающая нередко значительной величины, требует от привода подачи широкого диапазона непрерывного регулирования. Вместе с тем при обработке деталей различной конфигурации на фрезерных станках с программным управлением существенная часть времени затрачивается на перемещение исполнительного органа станка из одной позиции в другую по окончании одного прохода и для возобновления следующего. Поэтому с целью повышения производительности обработки необходимо увеличение скоростей быстрых перемещений приводов подачи. Из вышесказанного следует, что для наиболее полного удовлетворения требований повышения качества и производительности обработки на фрезерных станках с программным управлением необходимы приводы подачи, которые, обладая высокой разрешающей способностью, имели бы широкий диапазон непрерывного регулирования рабочих подач и обеспечивали одновременно высокие скорости быстрых перемещений исполнительного органа станка при максимальном быстродействии.

Цель работы. Разработка и исследование двухструктурного линейного шагового электрогидравлического привода подачи фрезерного станка с программным управлением с целью определения

параметров привода, оптимальных с точки зрения производительности обработки при заданной точности. Выбор и обоснование оптимальных скоростей быстрых перемещений. Разработка методики экспериментального исследования двухструктурного линейного шагового электрогидравлического привода подачи стола фрезерного станка.

Научная новизна. Разработаны основы теории создания двухструктурного линейного шагового электрогидравлического привода подачи стола фрезерного станка с программным управлением, методика расчета циклов позиционирования, величин оптимальных скоростей быстрых перемещений исполнительного органа станка. Разработана методика математического моделирования электрогидропривода подачи, обоснован выбор способа позиционирования исполнительного органа, установлены условия работы обеих структур привода. Теоретически получены зависимости силовых и размерных параметров привода подачи.

Практические результаты. На основании теоретических предпосылок создан новый двухструктурный линейный шаговый электрогидравлический привод подачи. Первая структура привода подачи обеспечивает рабочие подачи, а вторая - скорости быстрых перемещений. Разработана оригинальная конструкция механизма первой ступени усиления привода подачи, типа винт-втулка. Путем экспериментальных исследований определены основные параметры привода. Автором предложен инженерный метод расчета статических и динамических характеристик привода подачи. Приведена методика расчета с использованием аналоговых вычислительных машин. Для синхронизации работы обеих структур привода подачи разработан и создан электронно-логический блок управления. Разработаны элементы защиты узлов привода.

Реализация в промышленности. Работа является частью научно-исследовательских работ, выполненных на кафедре "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана. Созданный привод установлен на станке мод. 6М42К и опробован в производственных условиях. Разработанные методические указания использованы при расчетах и проектировании приводов подачи фрезерных станков с программным управлением. Внедрение разработанного привода подачи с учетом полученных рекомендаций позволяет увеличить производительность

обработки и получить годовой экономический эффект в расчете на один станок около 1,5 тыс.рублей.

Апробация работы. Основные результаты работы нашли отражение в докладах на

1) Всесоюзном научно-техническом семинаре "Применение гидравлических и пневматических приводов в станках и машинах с программным управлением", г.Бйск, 20-23 ноября 1973 г.;

2) Всесоюзном научно-техническом семинаре "Гидравлические и пневматические приводы, применяемые в автоматических манипуляторах с программным управлением", г.Краснодар, 16-18 сентября 1975 г.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 4 работы.

Структура и объем работы. Реферлируемая работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, библиографии из 52 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава работы посвящена анализу состояния автоматизированных приводов подачи фрезерных станков с программным управлением на современном этапе. Круг вопросов, связанный с совершенствованием приводов подачи указанных станков, чрезвычайно обширен. Разработкой, исследованием и внедрением приводов подачи занимаются многие отраслевые научно-исследовательские институты, соответствующие кафедры ВУЗов, исследовательские лаборатории станкостроительных заводов, экспериментальные бюро предприятий, выпускающих станки с программным управлением для нужд своей отрасли, как в нашей стране, так и за рубежом. В их числе ЭНИМС, МВТУ им.Н.Э.Баумана, Мосстанкин, ВСТИ, ТАШПИ, Бендикс и др.

На основании анализа состояния и особенностей работы приводов подачи фрезерных станков с программным управлением при обработке деталей из различных материалов определяются задачи, которые необходимо решать для повышения качества приводов подачи. Сравнительный анализ обработки типовой детали позволяет сформулировать основные требования к приводу подачи фрезерных станков с программным управлением с точки зрения повышения производительности обработки. Это - значительное расширение диапа-

зона рабочих подач, высокая разрешающая способность, а также увеличение скоростей быстрых перемещений приводов. С целью эффективного использования мощности станка, повышения производительности и уменьшения влияния отрицательных последствий интенсификации обработки на станках (возможное увеличение простоев оборудования) рекомендуется использование в управляющем устройстве элементов самоприспособливания. В качестве параметра регулирования, с точки зрения оптимального управления, наиболее приемлемой является подача. Во фрезерных станках с программным управлением наибольшее распространение получили электрические и гидравлические приводы подач. Гидравлические приводы, обладая высоким быстродействием, развивают большие рабочие усилия, при меньших габаритах обеспечивают значительную жесткость характеристик, плавность хода, широкий диапазон скоростей. Вместе с тем, использование электрического сигнала в качестве управляющего воздействия гидравлического привода открывает возможности использования точных электрических цепей коррекции и самоприспособливания.

Таким образом, исходя из основных требований, предъявляемых к приводам подачи фрезерных станков с программным управлением, наиболее приемлемым является привод подачи, который обеспечивает заданную точность отработки командных сигналов и максимальную производительность обработки. Этому в наибольшей степени отвечает двухструктурный линейный шаговый электрогидравлический привод подачи. На кафедре "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана проводятся исследования электрогидравлических приводов подачи на основе гидроцилиндра. Исследования показывают, что применение такого привода позволяет уменьшить статическую погрешность привода подачи и упрощает конструкцию. В предлагаемом приводе роль задающего устройства выполняет шаговый двигатель. С целью повышения быстродействия привода при позиционировании предложена новая структура привода.

Вторая глава работы посвящена теоретическому исследованию и обоснованию методов повышения статической и динамической точности линейного шагового электрогидравлического привода подачи. Приведен анализ быстродействия и точности при позиционировании, путей их дальнейшего повышения, возможностей расширения диапазона регулирования привода подачи.

На качество работы привода подачи станка существенное влияние оказывает неидентичность параметров приводов по координатам. При обработке прямой линии по координатам X и Y входное воздействие представляет собой сигнал вида $g(t) = f \cdot t$, где f — частота следования задающих импульсов. Установившаяся ошибка при неидентичности каналов X и Y , когда $K_x \neq K_y$ будет равна:

$$\varepsilon_{xy}(t) = f \sin \alpha \cdot \cos \alpha \left(\frac{1}{K_y} - \frac{1}{K_x} \right), \quad (1)$$

где K_x, K_y — общие коэффициенты усиления разомкнутых приводов по координатам X, Y .

Вследствие возмущающих воздействий (изменение усилий резания) происходит изменение статического момента, приведенного к валу двигателя. В этом случае ошибка воспроизведения отрезка прямой при неидентичности приводов по координатам и линейности их статических характеристик изменится на величину:

$$\varepsilon'_{xy}(t) = -\frac{K_{my}}{K_x} M_x \sin \alpha + \frac{K_{mx}}{K_y} M_y \cos \alpha, \quad (2)$$

где K_{mx}, K_{my} — коэффициенты передачи привода по моменту.

Выражение для установившейся ошибки воспроизведения отрезка прямой приводами по координатам X, Y можно записать в общем случае в виде:

$$\varepsilon_{xy}^{\text{общ}} = \varepsilon_{xy} + \varepsilon'_{xy} = f \sin \alpha \cdot \cos \alpha \left(\frac{1}{K_y} - \frac{1}{K_x} \right) - \frac{K_{mx}}{K_x} M_x \sin \alpha + \frac{K_{my}}{K_y} M_y \cos \alpha \quad (3)$$

При обработке окружностей с постоянной тангенциальной скоростью ошибка на контуре получается, как разность между радиусом заданной окружности R и радиусом-вектором воспроизведенного контура $\rho_{\text{в.к}}$:

$$\varepsilon_{xy} = R - \rho_{\text{в.к}}, \quad (4)$$

$$\text{где } \rho_{\text{в.к}} = \sqrt{\rho_x^2 \cos^2(\omega t - \varphi_x) + \rho_y^2 \sin^2(\omega t - \varphi_y)}$$

ρ_x, ρ_y — амплитуда установившихся движений по координатам;

φ_x, φ_y - фазовые отклонения замкнутых приводов подачи.

Таким образом, динамическая точность воспроизведения заданного контура приводами подачи определяется входными воздействиями, соответствующими контуру, возмущающими воздействиями и передаточными функциями следящих приводов подачи станка по координатам X, Y . В общем случае передаточная функция следящего привода подачи имеет вид:

$$\Phi(s) = \frac{X_{вых}(s)}{X_{вх}(s)} = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\zeta\omega_c s + \omega_c^2}, \quad (5)$$

Изменение коэффициента усиления K и постоянной времени T приводит к изменению собственной частоты $\omega_c = \sqrt{\frac{K}{T}}$ и коэффициента демпфирования системы ζ :

$$\omega'_c = \omega_c + \Delta\omega_c = \sqrt{\frac{K + \Delta K}{T + \Delta T}}, \quad (6)$$

$$\zeta' = \zeta + \Delta\zeta = \frac{1}{\sqrt{(K + \Delta K)(T + \Delta T)}}$$

отсюда

$$\Delta\omega_c = \frac{\sqrt{T(K + \Delta K)} - \sqrt{KT}}{\sqrt{T(T + \Delta T)}} \quad (7)$$

$$\Delta\zeta = \frac{\sqrt{KT} - \sqrt{(K + \Delta K)(T + \Delta T)}}{\sqrt{KT(K + \Delta K)(T + \Delta T)}}$$

Из анализа полученных выражений следует, что составляющая ошибки при обработке контура, вызванная отклонениями коэффициента усиления ΔK , постоянной времени ΔT по каждой координате, может быть существенно уменьшена автоматическим замером и коррекцией их значений посредством введения в систему элементов самонастройки. Практически полная компенсация ошибки на контуре может осуществляться путем сравнения эталонного сигнала модели следящего привода с выходным сигналом следящего привода подачи и последующего воздействия разности этих сигналов на коэффициенты передач элементов приводов подачи станка. Если принять в качестве настраиваемого параметра коэффициент усиления

следящего привода, то приведение последнего в соответствие с эталонным значением коэффициента усиления K_M , заложенного в эталонную модель, осуществляется с помощью компенсирующего усилителя с перестраиваемым коэффициентом усиления $K_{рег}$:

$$K_{рег} = \frac{K_M}{K(t)}$$

Настройка коэффициента усиления K следящего привода (по координатам X, Y) на эталонные значения K_M описывается уравнением:

$$K_i = \frac{\partial I}{\partial K_i} \quad (i = X, Y) \quad (8)$$

В нашем случае

$$I = \varepsilon^2 = \min, \text{ причем } \varepsilon = X_M - X$$

где X_M, X - выходные сигналы соответственно с модели и привода.

Далее

$$\frac{\partial I}{\partial K_i} = \frac{\partial I}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial K_i} \quad (9)$$

Величина ε равна:

$$\varepsilon = [\varphi_M(s) - \varphi(s)]g, \quad (10)$$

отсюда

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial K_i} = -g \frac{\partial \varphi(s)}{\partial K_i} = g W_{\partial \varphi / \partial K_i}(s) \quad (11)$$

где $\varphi(s), \varphi_M(s)$ - передаточные функции привода и его модели.

Подавая на вход вычислителя $W_{\partial \varphi / \partial K_i}(s)$ входной сигнал g , на выходе получаем $\frac{\partial \varepsilon}{\partial K_i}$ - функцию чувствительности отклонений выходной координаты ε следящего привода по настраиваемому параметру K_i . Таким образом, устранение ошибки системы предполагает компенсацию ε необходимым изменением K_i .

При позиционировании в станках необходим алгоритм управления, который обеспечивал бы требуемую точность и максимальное быстроедействие при переводе исполнительного органа из ис-

ходного положения в заданное. При одном интервале управления стол станка будет иметь свободный выбег, что приводит к ошибке в обработке заданной координаты. Допустимую скорость движения $S_{доп}$ можно определить из допустимого выбега $\delta_{выб}$ по координате:

$$S_{доп} = \frac{\delta_{выб}}{T} \quad (12)$$

где T - постоянная времени привода подачи.

Зная $S_{доп}$, можно найти и соответствующее управляющее воздействие $g_{доп}$:

$$g_{доп} = \frac{S_{доп}}{K} \quad (13)$$

где K - коэффициент усиления привода подачи.

Таким образом, при подходе к заданной координате со скоростью большей $S_{доп}$, необходимо снизить управляющее воздействие с максимальной величины до допустимой. Путь X_T , пройденный за время снижения подачи от S_{max} до $S_{доп}$, составляет:

$$X_T = S_{доп} \cdot T + (1 + e^T)(S_{max} - S_{доп}) T \quad (14)$$

Алгоритмы управления, близкие к оптимальным, обеспечивающие максимальное быстродействие, а значит и максимальную производительность, достигаются при минимальном количестве переключений и интервалов управления. Вместе с тем, при необходимости обеспечения заданной точности оптимальное управление представляет собой кусочно-постоянную функцию, состоящую в простейшем случае из двух интервалов управления с одним переключением. При выборе оптимального по быстродействию управления необходимо задавать релейный закон управления с ускорением, равным $\dot{S} = \dot{S}_{max}(t)$. При перемещении исполнительного органа станка из начального положения в конечное оптимальный по быстродействию переходный процесс состоит из двух участков и протекает на участке разгона L_p с максимальным ускорением $\dot{S}_p$, а на участке торможения L_T - с максимальным замедлением $\dot{S}_T$, характеризующим максимально достижимое быстродействие привода подачи станка при обработке перемещения L . Общее время переходного процесса определяется соотношением:

$$t_{min} = \frac{2(L_p \cdot \dot{S}_T + L_T \cdot \dot{S}_p)}{\dot{S}_p \cdot \dot{S}_T} \quad (15)$$

При наличии ограничений на реальную подачу $S_{g\beta}$, переходный процесс состоит из трех участков: разгон, движение с постоянной скоростью, торможение. В этом случае при обработке перемещения L время переходного процесса равно (при этом $t > t_{min}$):

$$t = \frac{L}{S_{g\beta}} + \frac{S_{g\beta}(\dot{S}_p + \dot{S}_T)}{2 \dot{S}_p \cdot \dot{S}_T} \quad (16)$$

При практической реализации такой оптимальной системы требуется избежать автоколебаний в установившемся режиме работы, поэтому релейное исполнительное устройство заменяется релейно-пропорциональным исполнительным элементом. Неточность вывода стода станка в заданную точку может быть скомпенсировано в этом случае областью притяжения в окрестности заданной точки, обусловленную линейным участком характеристики исполнительного устройства.

Релейно-пропорциональный алгоритм управления исполнительного органа фрезерного станка с программным управлением получен с помощью гидроцилиндра с золотниковым устройством, имеющим блок управления, который обеспечивает линейно-пропорциональное управление малой скоростью движения (рабочими подачами) стода при минимальных рассогласованиях в следящем приводе и о релейным переключением на режим высоких скоростей при больших рассогласованиях. Привод, построенный по этому принципу, позволяет решать задачи как контурной обработки, так и позиционирования, что достигается использованием двух контуров управления. Контур быстрого перемещения используется для позиционирования с максимальным быстродействием. Контур точного перемещения используется для контурной обработки, а также, совместно с контуром быстрых перемещений, для обеспечения заданной точности позиционирования.

В третьей главе работы рассматриваются вопросы расчета привода подачи станка, расчет циклов позиционирования. Проведен расчет предельных значений величин подач.

Уравнение обобщенной статической характеристики первой ступени усиления привода подачи в относительных координатах записывается в виде:

$$\bar{Q}_3 = \sqrt{1 - \bar{P}_1} - a (\arccos \bar{X} - \bar{X} \sqrt{1 - \bar{X}^2}) \frac{2}{\pi} \sqrt{\bar{P}_1} \quad (17)$$

где $\bar{Q}_3 = \frac{Q_3}{G_{др} \sqrt{P_y}}$; $\bar{P}_1 = \frac{P_1}{P_y}$; $a = \frac{G_o}{G_{др}}$; $\bar{X} = \frac{X}{X_o}$;

в приведенных выражениях: Q_3 - расход жидкости, необходимый для перемещения золотника; $G_{др}$, G_o - гидравлические проводимости постоянного дросселя и сопла в нулевом положении; P_1 , P_y - давления рабочей жидкости в полости управления золотником и в магистрали управления; X - смещение втулки относительно винта; X_o - начальное открытие сопла.

Уравнение скоростной характеристики второй ступени усиления привода подачи, показывающее зависимость величины подачи штока гидроцилиндра от смещения распределительного золотника при установившемся движении холостого хода записывается в виде:

$$S = \frac{\mu \pi d_3 \gamma K_{пр}}{F_n \sqrt{\rho}} \sqrt{P_H - P_{сл} - \frac{K_{зол}}{G_A} y - \Delta P_{мех}} - r \frac{\Delta P_{мех}}{F_n} \Big|_{\dot{R}=0} \quad (18)$$

где μ - коэффициент расхода в рабочих окнах золотника; d_3 - диаметр золотника; y - смещение золотника; $K_{пр}$ - коэффициент пропорциональности; F_n - площадь поршня; ρ - плотность рабочей жидкости; P_H , $P_{сл}$ - давления нагнетания и слива; $K_{зол}$ - коэффициент усиления золотника по расходу при холостом ходе; G_A - проводимость трубопроводов, соединяющих золотник с гидроцилиндром; $\Delta P_{мех}$ - потери давления на преодоление трения в гидроцилиндре; r - коэффициент утечек; R - нагрузка.

В главе приведены расчетная схема и передаточные функции, определены постоянные времени и коэффициенты демпфирования отдельных звеньев привода подачи станка. Передаточная функция линейной модели замкнутого привода подачи с учетом всех параметров, оказывающих существенное влияние на динамику привода, имеет вид:

$$\Phi(s) = \frac{D_o}{D_6 s^6 + D_5 s^5 + D_4 s^4 + D_3 s^3 + D_2 s^2 + D_1 s + D_0} \quad (19)$$

При позиционировании работа обеих структур привода совмещается и, в зависимости от вариантов их включения, можно получить разное быстродействие при отработке заданной координаты. Выбор скоростей движения в приводе быстрых перемещений, в об-

чем случае, определяется динамическими характеристиками, а также зависит от времени срабатывания аппаратуры. Скорость движения S_B , обеспечиваемая структурой быстрых перемещений, при данном шаге винта $t_{\text{винта}}$ обратной связи располагается в диапазоне:

$$S_{\text{ном}} \leq S_B < S_{\text{max}} \quad (2v)$$

при этом
$$S_{\text{ном}} = \frac{t_{\text{винта}}}{t_a + \frac{T}{2}}; \quad S_{\text{max}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{t_{\text{винта}}}{t_a + \frac{T}{2}};$$

где $S_{\text{ном}}$ - скорость движения, обеспечивающая отработку заданного перемещения без перерегулирования; S_{max} - скорость движения, обеспечивающая отработку заданного перемещения с максимально допустимым перерегулированием; t_a - время срабатывания аппаратуры; T - время сброса скорости, определяемое постоянной времени привода подачи.

Из формул (20) видно, что оптимальная скорость прямо пропорциональна шагу винта. Выбор шага винтовой нарезки также имеет ограничения. При уменьшении шага винта уменьшается и номинальная скорость движения. Вместе с тем, увеличение шага винтовой нарезки приводит к увеличению цены импульса привода малых подач, работающего в следящем режиме, в котором винт исполняет функцию задающего устройства. Поэтому увеличение шага винта $t_{\text{винта}}$ ограничивается необходимой разрешающей способностью следящего привода:

$$t_{\text{винта}} \leq \frac{l}{K_{\text{преоб}}} \quad (2I)$$

где l - разрешающая способность следящего привода; $K_{\text{преоб}}$ - коэффициент передачи преобразователя частоты следования импульсов в перемещение втулки.

В четвертой главе проверяются теоретические выводы, сделанные в предыдущих разделах работы, оценивается качество функционирования привода методом математического моделирования, приводятся результаты экспериментальных исследований двухструктурного линейного шагового электрогидравлического привода подачи.

Для оценки эффективности работы привода подачи при изменении его параметров проводились исследования методом математического моделирования на аналоговой вычислительной машине

МН7. Проводились исследования переходных процессов, протекающих в приводе подачи, с целью определения оптимального коэффициента усиления системы. Сигналы, пропорциональные скорости и перемещению стола станка, подавались на вход электроннолучевого осциллографа и записывались на шлейфовом осциллографе Н115. Из анализа переходных процессов следует, что система имеет малоколебательный переходный процесс с перерегулированием, равным 20% и числом колебаний меньше двух при коэффициенте усиления $K=92$. Время переходного процесса при этом равно 0,032 с. Максимально допустимое перерегулирование (30%) достигается при коэффициенте усиления $K=97$.

Дальнейшее повышение производительности путем интенсификации обработки возможно лишь при условии стабильного поддержания точности обработки в пределах поля допусков. С этой целью моделировались процессы, протекающие в приводе подачи при управлении с эталонной моделью для компенсации неидентичности параметров приводов по координатам. Исследовались процессы настройки коэффициента усиления привода подачи при отработке заданного воздействия. Производилась оценка устойчивости и точности настройки параметров модели и привода. Точность самонастраивающейся системы оценивалась по степени совпадения выходного сигнала с модели и с настроенного следящего привода. Наиболее эффективно процесс настройки производится при малых отклонениях коэффициентов усиления привода от номинального значения (в пределах 10 - 20%). Время настройки коэффициента усиления привода подачи достигает 0,04с при величине перерегулирования не более 30%.

При снятии амплитудных и фазовых характеристик замкнутого привода подачи применялось специальное устройство, предназначенное для задания системе синусоидального сигнала. Для исследования характеристик привода подачи применялось тензочувствительный датчик перемещения, датчик скорости движения стола, электронный счетно-логический блок. По результатам экспериментов построены логарифмические амплитудные и фазовые характеристики привода подачи, которые близко совпадают с расчетными. При выбранном коэффициенте усиления разомкнутого привода система устойчива и имеет по эксперименту запасы по фазе 45° (расчетный 50°) и по амплитуде 10 дБ (расчетный 6,5 дБ).

Исследовались переходные процессы по скорости в режиме быстрых перемещений. В среднем разгон совершался за 0,26 с (на скорости 100 мм/с), замедление — за 0,2 с, при этом привод развивает ускорения: при разгоне — $38,5 \text{ см/с}^2$, при торможении — 50 см/с^2 . Выявлено, что работа привода зависит, в значительной мере, от защиты задающего винта от механического повреждения, а также от эффективного обора утечек из-под винта. Предложенный вариант защиты винта обладает высокой надежностью и герметичностью. Разработанный двухструктурный линейный шаговый электрогидравлический привод подачи был установлен на вертикально-фрезерном станке мод. 6М42К по двум координатам и проверен в работе в производственных условиях.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны теоретические основы создания быстродействующего двухструктурного линейного шагового электрогидравлического привода подачи для фрезерных станков с числовым программным управлением.
2. Разработана методика расчета двухструктурного линейного шагового электрогидравлического привода подачи, по которой рассчитан исследуемый привод.
3. Выполнены теоретические исследования привода подачи, разработана методика этих исследований, на основании которой определены теоретические параметры разработанного привода.
4. Определены и обоснованы критерии для оценки качества привода подачи вертикально-фрезерного станка с числовым программным управлением.
5. На основе теории производительности рабочих машин и сравнительного анализа наиболее совершенных существующих приводов определена принципиальная структура оптимального следящего привода, обладающего высокими качествами.
6. На основе теоретических исследований и расчетов создан экспериментальный привод подачи с оригинальными механизмами и устройствами.
7. Выполнены экспериментальные исследования привода подачи с целью определения качества привода; при этом использовались методы моделирования с помощью АБМ.

8. Данные экспериментальных исследований с достаточной точностью подтвердили теоретические расчетные данные.

9. По уточненным данным создан опытный образец привода подачи, который внедрен на станке с числовым программным управлением.

10. Расчет эффективности разработанного привода подачи показывает, что применение его во фрезерных станках с программным управлением позволяет получить значительный экономический эффект. Годовой экономический эффект от внедрения привода составляет 1,5 тыс. рублей.

Основные результаты работы опубликованы в следующих изданиях:

1. Кузнецов М.М., Егоров М.М. Следящий гидравлический привод самообучающихся систем программного управления. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Применение гидравлических и пневматических приводов в станках и машинах с программным управлением", Москва, 1973. ВНИИНМАШ.

2. Егоров М.М., Кузнецов М.М., Бондаренко В.Н. Линейный электрогидравлический шаговый привод подачи станков. Межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды, Бюллетень №26 - 75, Улан-Удэ, 1975.

3. Егоров М.М. Электрогидравлический следящий привод в промышленных роботах. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Гидравлические и пневматические приводы, применяемые в автоматических манипуляторах с программным управлением", Москва, 1975. ВНИИНМАШ.

4. Кузнецов М.М., Васильев Г.Н., Светочев Г.А., Егоров М.М. Исследование самообучающейся гидрофицированной системы управления фрезерного станка. Известия ВУЗов, "Машиностроение", №8, 1976.

Л- 26518 Подп. к печ. 6/VI-78. Заказ 941 Объем 1 л. Тираж 100 экз.
Ротопринт MBTV 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., д. 5