

4 45052
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

НИКУЛИН ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

У.Д.К. 621.914.37: 62 - 64

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РОТОРНОГО ЭЛЕКТРО-
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА ПОДАЧ
ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ КОПИРОВАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ.

Специальность - 05.03.01 - Процессы механической и
физико - химической обработки, станки и инструмент,
05.02.03 - Системы приводов.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1986 г.

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 М.М. Кузнецов.
- Официальные оппоненты - лауреат Государственной премии СССР, доктор технических наук, профессор В.А. Лещенко.
- старший научный сотрудник кандидат технических наук Е.В. Мелихов.
- Ведущее предприятие - указано в решении специализированного Совета

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1986 г. на заседании специализированного Совета К 053. 15. 15 в Московском высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана по адресу:

веренный печатью

у.

теке МВТУ.

— 1986 г.

К. МЕЩЕРЯКОВ

ем I п.л.

878

сч 455052

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

НЕ ВСТАВЛЯТЬ

Актуальность работы. Одной из основных задач научно - технического прогресса в станкостроении, определенных решениями XXVII съезда КПСС и Постановлениями ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О значительном повышении технического уровня и конкурентноспособности металлообрабатывающего, литейного и деревообрабатывающего оборудования и инструмента" стала задача автоматизации ручного труда и повышения темпов роста производительности средств производства при применении простых автоматических устройств, машин и станков.

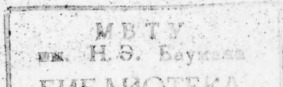
В станкостроительной и инструментальной промышленности в качестве привода подач таких станков в серийном производстве пространственно сложных деталей со значительными размерами широко применяют ротационный электрогидравлический следящий привод (РЭГСП) подачи, замкнутый по частоте вращения.

Данный привод обладает сравнительно низким диапазоном скоростей подачи исполнительных рабочих органов станка, что ограничивает его технологические возможности. При изготовлении длинномерных пространственно сложных деталей с помощью такого задающего привода появляется необходимость в применении ручного труда.

Расширить диапазон РЭГСП подач можно лишь увеличением диапазона частот вращения гидромотора привода. В этом случае появляется реальная возможность повысить производительность труда и снизить передаточное число редуктора, установленного в приводе подач.

В связи с этим, решение вопросов разработки научно - технических рекомендаций по созданию РЭГСП подач для копировально - фрезерных станков тяжелой группы, где требуется их широкий скоростной диапазон путем расширения диапазона частот вращения известного гидромотора привода и совершенствование элементов, удовлетворяющих требованиям увеличенного диапазона, является весьма актуальной задачей.

Целью работы является разработка РЭГСП подач с расширенным диапазоном по скорости для наиболее часто применяющегося в тяжелых копировально - фрезерных станках задающего привода и методики расчета его элементов, основанной на местной обрат-



ной связи по нагрузке резанием, стабилизирующей низкие скорости подачи стола станка.

Методика исследований основана на современных представлениях в области теории и практики РЭГСП подач станков и методики расчета динамики привода подач и систем управления, теории стабильности скорости исполнительных органов гидросистем. Была применена теория производительности станка и элементы теории надежности машин. Метод динамического анализа применялся в соответствии с теорией дифференциальных уравнений. Для части теоретических расчетов подготовлены алгоритмы для расчетов на ЭВМ. Теоретические результаты подтверждены экспериментально. Для этого был изготовлен опытный образец привода подач и проведены экспериментальные исследования на специальном стенде с имитацией условий резания. Применялась современная малоинерционная тензометрическая и индукционная аппаратура.

Научная новизна работы. Научно обоснована методика проектирования РЭГСП подач, выполненного на основе гидромотора с расширенным диапазоном частот вращения и местной обратной связью. Доказана необходимость применения электрогидравлического усилителя, выполненного с начальными протоками в золотнике и нового первичного преобразователя информации о частоте вращения. Разработана динамическая модель электрогидравлического золотника и гидромотора, а также привода подач в целом. На основе динамического четырехполюсника была выполнена структурная схема гидромотора и определена его передаточная функция. Решен вопрос о нахождении оптимального для электрогидравлического усилителя коэффициента усиления по давлению.

Выведены формулы частоты вращения ходового винта станка в замкнутом и разомкнутом по частоте вращения приводе для основных случаев включения исполнительного гидромотора и вспомогательных золотников.

Найдена взаимосвязь между производительностью станка и величинами диапазонов частот вращения его исполнительных двигателей приводов подач.

Практическая ценность работы Разработана и внедрена методика расчета и проектирования РЭГСП подач с расширенным диапазоном скоростей перемещения стола тяжелого КТС, которая поз-

воляет значительно облегчить расчет привода за счет применения метода электрогидравлической аналогии.

Разработана простая электрическая схема привода подач, позволяющая моделировать его поведение при различных параметрах гидромотора, электрогидравлического усилителя и вспомогательных золотников.

Сформулированы требования к параметрам элементов РЭГСП подач, используемые для создания приводов тяжелых КФС с расширенным диапазоном частот вращения гидромотора.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана и внедрена конструкция гидромотора совместно с вспомогательными золотниками.

Создан прибор, измеряющий частотным методом угловые скорости и позволяющий с большой точностью (1% при $\omega = 0,23 \text{ рад/с}$ и 0,05% при $\omega = 160 \text{ рад/с}$) получать информацию о величине и направлении частоты вращения ходового винта КФС.

Реализация результатов. Разработана методика инженерного расчета РЭГСП подач с расширенным диапазоном частот вращения гидромотора. Даны рекомендации по выбору необходимых элементов привода подач станка. По результатам выполненной работы в МВТУ им. Н.Э. Баумана был выполнен экспериментальный стенд с РЭГСП подач, имеющем расширенный диапазон частот вращения.

Разработанный РЭГСП подач с расширенным диапазоном был внедрен на Бендерском заводе "Электроаппаратура" с годовым экономическим эффектом 2800 руб. на один привод подач.

Разработанный рабочий проект РЭГСП подач передан на предприятие отрасли.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались на заседаниях кафедры "Станки и автоматы механосборочного производства" (1975г.), (1982г.), (1985г.). Основные результаты обсуждались на Всесоюзном научно - техническом совещании "Повышение ресурса и расширение функциональных задач гидравлических и пневматических приводов, используемых при автоматизации производства и повышении 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 заводе АТЭ - 2 (г. Москва 1980 г.), Всесоюзной научно - технической конференции "Совершенствование гидро - и пневмоагрегатов в машиностроении" (г. Грязи 1985 г.) и на заседании Центрального Правления Научно - Технического Общества СССР машиностроительной промышленности.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 9 печатных работ и получено одно авторское свидетельство. Материалы диссертационной работы использовались в двух отчетах по НИР.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключительной части - выводов, списка литературы 91 наименования и приложений, содержит 150 страниц машинописного текста, 85 рисунков, 18 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы по теме диссертации сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе рассмотрены тенденции развития РЭГСП подач в копировально - фрезерных станках. Обзор и анализ работ по исследованию и применению приводов подач в тяжелых копировально - фрезерных станках (ТКФС), а также тяжелых станках с ЧПУ позволил выявить основные причины не позволяющие вести обработку деталей, выполненных из труднообрабатываемых материалов приводами подач на основе гидромоторов. Отмечено, что для достижения этого разработаны статический и динамический расчеты, объясняющие неравномерную работу гидромотора в следящем за угловой скоростью режиме на малых частотах вращения его вала. Ряд работ касается при этом самого гидромотора, нелинейных уравнений его движения на малых частотах.

На основании анализа статико - динамических расчетов было выявлено, что РЭГСП подач станка, выполненный на основе недорогих, отечественных гидромоторов различных типов не может работать в расширенном диапазоне частот вращения ходового винта станка с 30% неравномерностью и номинальной нагрузкой на валу.

Анализ отечественных и иностранных работ показал, что применение дросселей для расширения диапазона частот аксиально - поршневого, отечественного гидромотора, как и улучшение элементов обратной связи по частоте вращения, не является

действенной мерой, позволяющей получить малые частоты вращения при полном сохранении момента. На основании материалов этого анализа и анализа конструкций гидромоторов, примененных в РЭГСП подач станков КЭС, были исследованы причины неравномерного движения узлов привода и сделан вывод о том, что расширение диапазона подач привода невозможно без совершенствования гидромотора, электрогидравлического золотника и первичного преобразователя информации, являющихся основными узлами скоростного привода.

При этом на основании расчета цикловой производительности КЭС по формуле

$$Q_u = \frac{1}{t_p + t_k} = \frac{S_{min}}{\frac{\sum \ell_p}{\alpha} + \frac{\sum \ell_k}{D}}$$

где S_{min} - минимальная величина подачи исполнительного органа КЭС; $\sum \ell_p$ и $\sum \ell_k$ - величины рабочих и холостых ходов; α - коэффициент, показывающий возможность привода подач в скоростной отработке сигнала в области низкоскоростных переходов и равный

$$\alpha = \frac{S_p}{S_{min}}$$

где S_p - величина подачи, рассчитанная по формулам теории резания; D - диапазон подач станка, видно, что производительность ТКЭС зависит от диапазона скоростей подач исполнительного органа. При заданном D достичь высокой производительности можно увеличивая коэффициент α . При обработке труднообрабатываемых материалов увеличение производительности ТКЭС возможно когда S_{min} будет хотя бы равна требуемой по теории резания подаче т.е. $S_{min} = S_p$.

Применение редуктора в приводе подач ТКЭС не решает эту задачу т.к. при его использовании нерационально снижается максимальная величина подачи исполнительного органа станка, что не позволяет использовать высокоскоростные переходы при обработке деталей из легкообрабатываемых материалов, т.е. ограничивает технологические возможности станка

Рациональное расширение диапазона подач ТКЭС с учетом снижения передаточного числа редуктора привода возможно лишь при уменьшении нижней границы частоты вращения гидромотора. В результате этого повышается верхняя граница, а следовательно

но, и верхний предел скорости подач, что необходимо для расширения технологических возможностей станка.

На основании проделанных расчетов и изучения РЭГСП подач ТКФС, были выявлены в качестве наиболее простых и дешевых гидромоторы аксиально - поршневого типа, обеспечивающие при совершенствовании схемы управления ими расширение диапазона частот вращения вала при сохранении постоянного момента.

Исходя из предъявляемых к РЭГСП подач ТКФС дополнительных статических и динамических требований, таких как расширение диапазона скоростей подач, обеспечение стабильной работы привода при переменной нагрузке силами резания и минимальной подаче, и др., были изучены ряд схем приводов подач станков копировально - фрезерной обработки, имеющих в качестве исполнительного двигателя гидромотор. Отмечено, что для стабилизации малых подач необходимо устранить дозированные электрогидравлическим усилителем утечки в нем. Для устранения утечек необходима простая автоматически действующая система, которая устраняла бы их вредное воздействие на стабильность низких частот вращения.

Во второй главе рассмотрены вопросы теоретической разработки элементов РЭГСП подач на основе теории автоматического управления и теории параметрических обратных связей. Кроме того, были рассмотрены схемы и методы регулирования частоты вращения вала гидромотора совместно с ЭГУ. Была рассмотрена работа гидромотора привода подач с устройствами мембранного типа во вспомогательном канале. Получены выражения для скоростной характеристики гидромотора и коэффициента неравномерности вращения его вала. Оценена нечувствительность вращения вала гидромотора привода подач к изменению перепада давления. Рассмотрены схемы электрогидравлических усилителей и даны области их использования. Для минимальной частоты вращения вала гидромотора привода подач найдена величина оптимального размера начального открытия золотника второго каскада и выведена формула для скоростной характеристики привода с учетом части утечек. Показано, что один из лучших способов формирования сигнала обратной связи по частоте вращения в задающих приводах - частотный. На его основе разработан широкодиапазонный датчик обратной связи, использующий высокоэффективный

вид модуляции расстояний между записанными на диске импульсами в модуляцию выходного тока.

Составленная схема методов регулирования и стабилизации частоты вращения вала гидромотора позволила выбрать схему привода подач и разработать математическую модель РЭГСП. Определены аналитические выражения для относительной неравномерности частоты вращения вала гидромотора привода подач и действительного коэффициента этой неравномерности при использовании схемы местной обратной связи по нагрузке со вспомогательными золотниками (рис. 1):

$$\sigma = \frac{\sum Q_2}{Q_T} \left(1 - \frac{1}{1 + K_0} \right); \quad (1)$$

где $\sum Q_2$ - утечки дозированного количества масла из гидромотора; Q_T - теоретический расход гидромотора; K_0 - коэффициент расхода вспомогательного золотника.

Анализ данного уравнения и аналогичного уравнения для гидромотора, включенного без обратных связей и полостей подпора 3 выполненных концентрично дозирующим, показал, что применение вспомогательных золотников 2, устраняющего дозированные утечки, уменьшает относительную неравномерность вращения вала гидромотора привода подач.

На основе проведенных теоретических исследований была разработана схема на основе мембранных устройств, предназначенная для дальнейшего совершенствования РЭГСП подач с расширенным диапазоном частоты вращения вала гидромотора.

Проведенный анализ сравнения работы элементов РЭГСП подач по показателям диапазона частот вращения с учетом и без учета дозированных утечек показал, что исходя из функциональных уравнений давления, перепада давления ΔP в обеих полостях гидромотора, управляемого электрогидравлическим усилителем с подпружиниванием золотника, величина утечек $\sum Q_2$ может по-разному влиять на нечувствительность в изменении управляющего тока в обмотке первого каскада.

Доказано, что гидромотор аксиально - поршневой группы обычного исполнения, включенный в схему дроссельного регулирования обладает большей нечувствительностью чем гидромотор

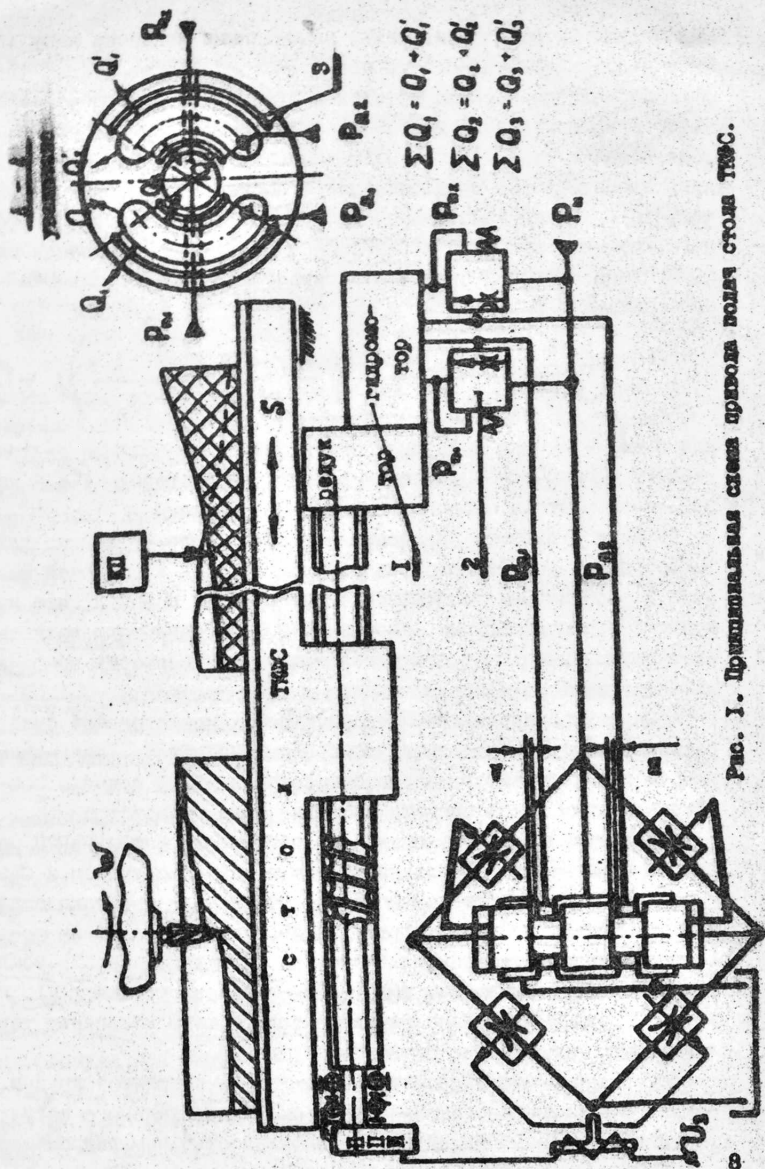


Рис. 1. Принципиальная схема привода стола ТНЭС.

с предложенным устройством I. Анализ уравнения расхода масла через гидромотор с учетом утечек и без учета показывает, что стол КЭС, приводимый в движение от нового гидромотора, имеющего меньшую постоянную времени, набирает максимальную скорость за малый промежуток времени.

Предложено находить скоростную характеристику замкнутой по частоте вращения системы РЭСП подач, оснащенной вспомогательными каналами обратной связи по нагрузке и электрогидравлическим усилителем с различными по величине перекрытиями, методом электрогидравлической аналогии. Составлена схема расчета на ЭВМ параметров привода подач КЭС со вспомогательными обратными связями по давлению. Составленный алгоритм позволяет отыскать коэффициент скоростной обратной связи $K_{собр}$, коэффициент проводимости редукционного клапана, используемого во вспомогательных цепях обратной связи C и коэффициент усиления скоростного контура $K_{ск}$.

На основе проведенных теоретических исследований разработана структурная схема привода подач ТКЭС. Она (рис. 2) содержит минимальное количество элементов, обеспечивает необходимое быстроедействие привода подач и получение желаемых динамических характеристик. Для упрощения математических исследований структурная схема выполнена линеаризованной. Звенья $W_1(s), W_2(s), W_3(s), W_4(s)$ характеризуют собой первый каскад электрогидравлического усилителя; $W_5(s), W_6(s), W_7(s)$ - второй каскад $W_4(s)W_5(s)$ - гидромотор с полостями подпора;

$W_{10}(s) - W_8(s)$ - вспомогательную цепь обратной связи по нагрузке.

В третьей главе, посвященной разработке основ теории синтеза РЭСП подач с расширенным диапазоном в статическом и динамическом режимах, разработана математическая модель утечек из гидромотора, найдены теоретически величины начальных откритий в электрогидравлическом усилителе и рассчитана электрическая модель привода подач при учете эксплуатации привода в условиях копировально - фрезерной обработки на малых скоростях стола станка.

Проведено исследование собственно гидромотора, как основной части привода подач стола. Предложено функции устройства во вспомогательном канале, устраняющем утечки дозированного

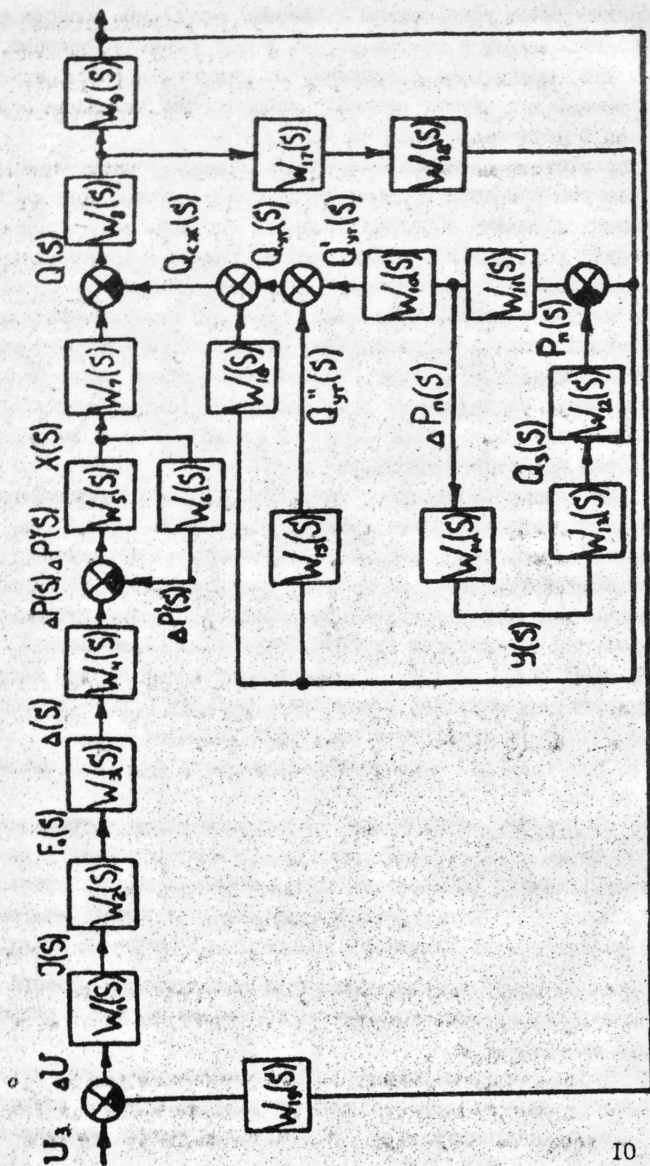


Рис. 2. Структурная схема РЭГУД подчас с расширенным диапазоном частоты вращения.

расхода масла, передать простому серийно выпускаемому клапану редукционного типа. Определен аналитически весь расход потока утечек ΣQ из полостей распределения гидромотора привода подач

$$\Sigma Q = \Sigma Q_1 + \Sigma Q_2 + \Sigma Q_3; \quad (2)$$

где: ΣQ_1 – поток утечек через внешнюю кромку отверстия
 ΣQ_2 – поток утечек через внутреннюю кромку отверстия
 ΣQ_3 – поток утечек через радиусное окончание отверстия

Показано (рис. 1), что при применении данного метода утечки ΣQ_1 и ΣQ_2 можно не учитывать. Эти утечки устраняются введением в распределитель гидромотора вспомогательных полостей подпора, давление в которых равно давлению масла в рабочих полостях.

Показано, что расход масла в приводе подач при применении в нем редукционных клапанов типа Г 55 в качестве устройств, стабилизирующих дозированный электрогидравлическим усилителем поток, будет изменяться мало.

Исследовано поведение в статике гидравлического двухкаскадного усилителя с электромагнитным управлением и с обратной связью по положению (расходу) распределительного золотника, выбранного после анализа ряда конструктивных схем. Одним из основных параметров для такого усилителя является коэффициент усиления по давлению K_p . Было показано, что K_p зависит от тока управления первым каскадом электрогидравлического усилителя $J_{упр}$:

$$K_p = \left. \frac{\partial \Delta P}{\partial J_{упр}} \right|_{J_{упр} \rightarrow 0} = P_n \left\{ \frac{4EK(A+E)}{E^4 + 2EA + A^4} \right\}; \quad (3)$$

где: A и E – начальные открытия золотника второго (рис. 1) каскада; K – коэффициент, показывающий прямую пропорциональность открытия щели золотника в зависимости от тока управления. Показано, что золотник астатического типа с начальными открытиями A и E удовлетворительно работает в области средних и малых частот вращения гидромотора.

Проведенные теоретические расчеты элементов привода по типич ТЭС показали, что уравнения статики и динамики переда-

точных функций гидромотора и вспомогательного золотника обратной связи по нагрузке, достаточно сложны. Исходя из этого, а также из подготовки задачи к решению на ЭВМ, было предложено используя метод электрогидравлической аналогии спроектировать электрическую модель РЭГСП подачи с расширенным диапазоном частот вращения. Разработан вариант расчета РЭГСП подачи ТКФС, выполненный на основе правил Кирхгофа и электрическая схема моделирования.

В четвертой главе описаны цель, методы и средства исследования РЭГСП подачи с расширенным диапазоном частот вращения выходного вала, а так же экспериментальная установка. Экспериментальные исследования позволяют определить область применения привода подачи и его экономическую эффективность.

Исследования проводились с целью получения данных, необходимых для расчета и выбора основных конструктивных параметров РЭГСП подачи с расширенным диапазоном частоты вращения гидромотора, проверки правильности основных теоретических выводов. Основное внимание уделялось исследованию утечек и частоты вращения вала гидромотора типа Г 15 - 23 при малых токах управления.

Экспериментальная установка позволяла варьировать рядом параметров: изменять нагрузку привода, бесступенчато изменять частоту вращения вала гидромотора, регулировать выходное давление насоса. Проведенные на данной установке эксперименты показали, что рассчитанная теоретически по формуле (2) и проверенная экспериментально величина утечек из распределительной полости разработанного гидромотора при разных давлениях и зазорах δ вполне удовлетворительно согласуются. При снятии этих кривых гидромотор привода подачи работал со следующими параметрами: нижняя граница частоты вращения 0,23 рад/с, при степени неравномерности вращения 30% и номинальном нагружающем моменте на валу гидромотора 45 Н м.

Измерения величин расхода утечек производились с помощью бесконтактного датчика вращения и лабораторных колб.

Подтвердились предположения о виде трения в гидромоторе Г 15- 23. Полученный ряд осциллограмм позволил вычислить величину коэффициента трения в нем. Она оказалась равной 0,25, что весьма близко к табличному значению "бронза по стали".

0,27. Таким образом, РЭГСП подач, выполненный по известной конструктивной схеме при страгивании стола ТКФС имеет сухое трение в самом гидромоторе.

Исследование "падающей" характеристики гидромотора привода подач показало, что угловой коэффициент паспортной характеристики трения для гидромотора Г 15 - 23 равен $\operatorname{tg} 112^\circ = -1,963$ а угловой коэффициент для разработанного гидромотора равен $\operatorname{tg} 82^\circ = 7,115$. Поскольку при положительном угловом коэффициенте имеет место жидкостное или граничное трение, то страгивание гидромотора привода подач, разработанного по предложенной схеме, происходит при низких перепадах давления $\Delta P \approx 0,06$ МПа.

Поскольку РЭГСП подач с расширенным диапазоном частоты вращения должен рассматриваться только как единство гидромотора, электрогидравлического усилителя и первичного преобразователя информации о частоте вращения, были построены регулировочные характеристики по перепаду давления в зависимости от тока управления близком к нулю. По ним были определены коэффициенты усиления золотника по давлению, которые практически совпали с рассчитанными ранее по формуле (3).

Введение золотников, поддерживающих автоматически давление в полостях подпора $P_{п.г.д}$ равным давлению в рабочих полостях P_d , позволило устранить силы сухого трения в исполнительном гидромоторе и обеспечить необходимые условия для достижения высокой стабильности низких частот вращения.

Динамические характеристики РЭГСП подач снимались при включенном первичном преобразователе информации о низких частотах вращения. Экспериментальная установка при этом была оснащена генератором Г 3 - 33 и осциллографом СГ - 18.

Обработка полученных осциллограмм позволила получить следующие зависимости привода, выраженные графически:

- неравномерность вращения выходного вала РЭГСП подач для различных случаев включения разработанного гидромотора и обоих видов обратных связей
- взаимосвязь дозированных и вспомогательных давлений

Полученные экспериментальные данные подтверждают теоретические выводы.

В пятой главе рассчитывается технико-экономический эффект, возникший в результате вывобождения станков из за увеличением диапазона

1. На основании теории дифференциальных уравнений, теории стабильности скорости гидросистем и теории электрогидравлической аналогии разработана математическая модель основных элементов РЭГСП подач и их структурная схема, позволившие установить зависимости между параметрами электрогидравлического усилителя, гидромотора и первичного преобразователя информации о частоте вращения для привода подач с расширенным диапазоном скорости. Теоретические исследования показали, что их необходимо проводить с учетом динамических явлений, происходящих в гидромоторе с учетом начальных открытий золотника электрогидравлического усилителя и влияния вспомогательных золотников подпора местных цепей обратных связей.

2. Разработана принципиальная и структурная схемы РЭГСП подач с расширенным диапазоном частоты вращения вала гидромотора, которые позволили рассчитать привод для малых токов управления. Установлено, что вследствие положительного углового коэффициента характеристики трения, страгивание гидромотора, управляемого электрогидравлическим усилителем типа ПЭГ - II без нагрузки на его валу происходит при перепаде давления $\Delta P = 0,06$ МПа, поэтому нелинейность типа "сухое трение" в распределителе на валу можно не учитывать.

3. Доказано, что цикловая производительность станка изменяется пропорционально росту диапазона регулирования частоты вращения выходного вала привода подач. При заданном по величине диапазоне регулирования достичь высокой производительности можно только увеличивая коэффициент α , показывающий возможности привода подач в скоростной отработке сигнала управления в области низкоскоростных переходов.

4. На основе принципа сохранения дозированных утечек разработано авторское свидетельство № 817332. Проведенные расчеты показали, что необходимо применение местной обратной связи по нагрузке, выполненной в специальном устройстве.

5. Комплексный учет нагрузок от сил резания и сил трения, учитываемый в разработанном устройстве минимизации дозированных утечек из распределительных полостей гидромотора привода подач, выполненном на базе внутренней обратной связи по

нагрузке, позволяет снизить число нелинейностей, учитываемых при низких скоростях перемещения стола ТКФС.

6. Конструктивная проработка на основе современных принципов создания РЭГСП подач позволила создать привод, способный работать во всем желаемом диапазоне скоростей перемещения стола ТКФС. При установке РЭГСП подач с расширенным диапазоном частот вращения ходового винта в трехкоординатный станок, появляется возможность обеспечить малые скорости резания, что расширяет технологические возможности станка.

7. Наличие в исполнительных гидромоторах приводов подач ТКФС дозированных рабочих полостей позволяет применить принцип стабилизации утечек на всю гамму гидромоторов. При этом необходимо определить коэффициент усиления электрогидравлического усилителя по расходу и давлению и выбрать требуемый первичный преобразователь частоты вращения вала привода.

8. Проведенная проверка динамических свойств РЭГСП подач с расширенным диапазоном частоты вращения вала привода показала адекватность теоретическим расчетам экспериментальных данных. Разработан алгоритм расчета электрогидропривода подачи стола ТКФС, позволяющий производить анализ движения привода и динамический синтез золотников подпора при малых токах управления.

9. На основании экспериментальных данных определены основные характеристики устройств привода подач. Разработаны конструкции гидромотора привода и нового прибора для измерения широкого диапазона частот вращения.

10. Проверка неравномерности работы РЭГСП подач с расширенным диапазоном частоты вращения при различных схемах включения обратных связей по частоте вращения и давлению, позволила установить, что процент неравномерности вращения при применении внутренней обратной связи по давлению (нагрузке) достигает 30% при частоте вращения 0,23 рад/с и номинальной нагрузке на валу используемого гидромотора.

11. Разработана проектная часть расчета РЭГСП подач, которая может служить для инженерного расчета привода

12. Годовой экономический эффект от внедрения привода по

дач в станок составил 2800 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Кузнецов М.М., Никулин Ю.В. Роторный электрогидропривод подачи. // Известия ВУЗов СССР. Сер. Машиностроение. - 1980. № 10. - С. 16 - 18. - Библиогр.: с. 18) (4 назв.) ISSN 0536-104
2. Кузнецов М.М., Никулин Ю.В. Роторный электрогидравлический следящий привод. // Машины, приборы, стенды. Каталог МВТУ - 1982. №3. - С.8.
3. Кузнецов М.М., Никулин Ю.В. Роторный электрогидравлический привод подачи. - // Научно-технический реферативный сборник по технологии машиностроения для легкой и пищевой промышленности - 1980. № 7. С.16. - Библиогр.: с. 16 (3 назв.)
4. Кузнецов М.М., Никулин Ю.В., Васильев Г.Н. Датчик частоты вращения. // Машины, приборы, стенды. Каталог МВТУ - 1980. №7. С. 29.
5. Кузнецов М.М., Москвин В.К., Никулин Ю.В. Электрогидравлические шаговые приводы роторного и линейного типов для повышения производительности и надежности станков. // Научные основы автоматизации производственных процессов, управление качеством в машиностроении и приборостроении. / Сб. тез. науч. тех. юбилейной конференции - 1979. - С. 62 - 64.
6. Кузнецов М.М., Москвин В.К., Никулин Ю.В. Исследование гидропривода механизмов подачи станков. - М.: МВТУ. 1985. - 28 с., 3 л. ил.; 3 см. - Библиогр.: с. 28. - 700 экз.
7. Никулин Ю.В. Широкодиапазонный роторный электрогидравлический следящий привод подачи для тяжелых копировально - фрезерных станков. // Всесоюзная научно - техническая конференция по совершенствованию гидро - и пневмоагрегатов в машиностроении. Тез. докл. науч. - техн. конференции. - 1985. - С. 38 - 41. - Библиогр.: с. 41 (5 назв.).
- А.с. 817332 СССР, МКИ³ В 16 Н 12/06. Объемный гидропривод / Д.Е. Шумилин, М.М. Кузнецов, Ю.В. Никулин. (СССР). - №2581 635/ -26 - 08; Заявлено 25.06.80; опубл. 30.02.82; Бюл. №12.-2с. : ил.
9. Никулин Ю.В. Исследование роторного следящего электрогидравлического привода подачи для станка. // Сб. науч. тр. МВТУ им. Н.Э. Баумана. - 1982. - Вып 379. - С.94-98. - Библиогр.: с.98 (2 назв.)