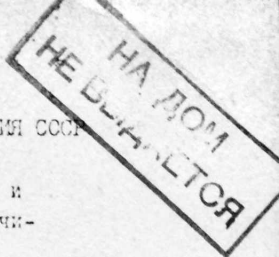


М404151



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшего технического учи-
лище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

УДК 621.914.4-529: 62-19

Дмитриев Николай Иванович

ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ "ПРИЗВОД
ПОДАЧ - ПОДВИЖНЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН" МНОГООПЕРАЦИОННЫХ
СТАНКОВ ПО ТОЧНОСТЯМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Специальность - 05.03.01. Процессы и машины
обработки металлов резанием,
автоматические линии.

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

М о с к в а - 1 9 8 3 г.

Работа выполнена на Владимирском ордена Трудового Красного Знамени производственном объединении "Техника".

- Научный руководитель — Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор ПРОНИКОВ А.С.
- Официальные оппоненты — Доктор технических наук, профессор Каминская В.В.
- Кандидат технических наук Слипухов А.В.
- Ведущее предприятие — указано в решении специализированного Совета

Защита диссертации состоится " " _____ 1983 г. на заседании специализированного Совета К 053.15.15 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005 Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

Ваш отзыв _____ нный печатью,
просим нап

Ал

УЧЕНЫЙ СЕ

К.

ЕРЯКОВ Р.К.

Заказ № 6
Тип. МВТУ

Объем 1 п.л.

M 407151

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основными направлениями развития народного хозяйства СССР, принятыми на XXVI съезде КПСС, предусмотрена широкая программа повышения технического уровня, конкурентноспособности металлообрабатывающих станков и существенное увеличение производства наиболее прогрессивной техники. Особенно актуальны эти направления для высокоавтоматизированных технологических комплексов, способных интегрировать элементарные технологические операции в процессе обработки деталей. В этой связи все большее внимание уделяется конструктивному совершенству таких автоматизированных станков и испытанию по параметрам качества и надежности, поскольку от этого зависит эффективность их применения в промышленности.

1840481
Оценку качественных характеристик станков как правило, дают на основании экспериментальных исследований, в ходе которых определяются частные выходные параметры (геометрическая точность, жесткость, стабильность позиционирования и т.д.). Эти методы являются наиболее распространенными и оговариваются в нормативно-технической документации. В результате таких разрозненных испытаний не удается в полной мере оценить технические характеристики станков, например, поведение рабочих органов в реальных условиях эксплуатации при восприятии всего диапазона эксплуатационных нагрузок или оценить работоспособность станка с учетом конструктивных изменений. Для создания новых моделей станков с высокими техническими характеристиками необходима как разработка новых конструктивных вариантов станков, повышающих их качественные характеристики, так и разработка научно-обоснованных методик, позволяющих корректно оценивать эти конструктивные изменения, гарантировать их эффективность при эксплуатации станка. Поэтому тема диссертации посвященная повышению качественных характеристик одной из основных систем автоматизированных станков "привод-подач. - подвижный рабочий орган" является актуальной и будет способствовать внедрению прогрессивной техники.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1407151

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Цель работы. Разработка новых конструктивных решений и исследование системы привод подач подвижный рабочий орган многооперационных станков для повышения их прецизионности и параметрической надежности. Разработка частной научно-обоснованной методики оценки качественных характеристик системы привод подач многооперационных станков.

Методы исследования. В диссертации использованы методы математической статистики, теоретической механики, дифференциальных исчислений, теории надежности машин, моделирования на ЭВМ. Экспериментальные исследования выполнены с использованием различного вида метрологического оборудования, информационных систем, выполненных как в стандартном виде, так и специально спроектированных и изготовленных для проведения испытаний.

Испытания предложенных конструкций проведены согласно разработанным методическим положениям, на многооперационных станках с числовым программным управлением типа КМЦ-600, а также на опытных образцах ряда станков, выпускаемых ВПО "Технича".

Научная новизна. Рассмотрена физическая картина явлений позиционирования рабочего органа станка с учетом микроперемещений в пределах одной дискреты перемещения рабочего органа..

В результате математического моделирования раскрыты доминирующие параметры, влияющие на процесс движения стола многооперационного станка КМЦ-600, как результат влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. Для решения этих задач использован соответствующий математический аппарат. В работе получены закономерности, определяющие погрешности микроперемещений рабочего органа. Предложена методика расчета доминирующих факторов, определяющих погрешность позиционирования.

Практическая ценность. Новый методологический подход позволяет производить оценку качественных характеристик разработанной системы привод подач - подвижный рабочий орган, так и других приводов подач, применяемых в многооперационных станках. Результаты работы могут использоваться конструкторскими службами для оценки качества приводов, а методики испытаний станков по точностям перемещения и останова метрологическими службами при контрольно-сдаточных испытаниях станков. Разработаны алгоритмы и пакеты программы на алгоритмическом языке "Фортран-4" для ЭВМ серии ЕС, для описания реальных процессов перемещений и останова рабочих органов станка.

Разработаны новые методы и конструктивные решения для повышения плановости и чувствительности перемещений, а также конструктивные варианты электроимпульсного привода микроперемещений и оригинальные электронные схемы, позволяющие управлять точностью останова подвижного органа станка.

Реализация результатов (внедрение). Методика оценки и варианты конструкций внедрены в производство на Владимирском производственном объединении "Техника". Фактический экономический эффект от внедрения предлагаемых конструкции привода и системы повышающей плавность и чувствительность перемещений рабочего органа станков составляет более 125 тыс. рублей, а от внедрения системы оценки качественных характеристик системы привод подач - подвижный рабочий орган многооперационных станков по точностям перемещений и позиционированию 1,8 млн. рублей.

Опробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: научно-практических семинарах Владимирского областного Совета НТО (Владимир 1976, 1977, 1979, 1980, 1982 г.г.), заседаниях кафедры "Металлорежущие станки и автоматы" МВТУ им. Н.Э.Баумана и на семинаре по проблемам машиноведения Академии наук СССР, института машиноведения им. А.А.Благонравова, на Совете ВПО "Техника".

Публикации. Основное содержание диссертационной работы нашло отражение в 3-х печатных работах, защищено 4 авторскими свидетельствами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассматриваются современные конструктивные решения применяемые в приводах станков и методики оценки их качественных характеристик. Показывается тенденция к качественному видоизменению традиционных конструкторских решений систем привод подач — подвижный рабочий орган.

Из анализа следует, что новые конструкции приводов направлены на обеспечение более высокой степени точности станков. Поэтому потребность в новой методологии оценки качественных характеристик приводов является насущной задачей современного станкостроения.

Отмечается большой вклад советских ученых в области изучения станков Б.С.Балакшин, А.М.Дальский, В.В.Каминская, В.С.Корсаков, В.А.Кудинов, А.С.Проников, В.Э.Пуш, Д.Н.Решетов и другие.

Проанализирован ряд работ, посвященных испытаниям станочного оборудования и соответствующей нормативно-технической документации. Акцентируется внимание на точности позиционирования и перемещения рабочих органов как их основных выходных характеристик. Анализируются погрешности позиционирования для различного вида многооперационных станков и элементы системы стол-привод подач, которые вносят свой отпечаток в процесс осуществления позиционирования оптимального по времени или оптимального по пути.

Одновременно рассматриваются методические подходы к испытанию многоцелевых станков с учетом номенклатуры метрологического оборудования.

В качестве логического следствия из данного анализа возникает задача по совершенствованию методического подхода для оценки качества и надежности как станочной системы в целом, так и её отдельных систем. Показана важность одновременного развития конструкций станков и методик, направленных

на оценку их качества, поскольку только такое сочетание позволит получить информацию о путях дальнейшего рационального развития технологического оборудования.

Данная работа базируется на новом методологическом подходе к испытаниям станков, получившего название "программный метод", разработанного профессором А.С. Троицким, который в своих работах дал формулировку основных принципов испытаний.

Базируясь на этом новом методологическом подходе сформулированы цели и задачи для разработки частной методики по оценке качественных характеристик системы привод подач - подвижный рабочий орган (стол) многооперационных станков на примере станка мод. КМЦ-600 горизонтальной компоновки.

Во второй главе разработаны положения частной методики экспериментальной оценки качественных характеристик системы привод подач - подвижный рабочий орган многооперационного станка. Суть этой методики заключается в оценке точности траекторий специально выбранных фиксированных точек стола станка в процессе его перемещения и остановки для выполнения станком технологического процесса. Осуществление экспериментальных исследований, содержало два этапа: этап подготовки экспериментальных исследований и этап проведения испытаний.

Регистрация пространственных траекторий рабочих органов во время выполнения ими технологических циклов осуществлялась с помощью специальной опытно-электронной системы.

В результате реализации первого этапа установлено что:

- температурные факторы в рассматриваемой системе привод подачи - стол за смену работы не превышал значений $1,5^{\circ}\text{C} \dots 2,1^{\circ}\text{C}$;

- стол станка перемещается по сложным пространственным кривым в пространстве - реальным траекториям, при чем параметры единичных реализаций не повторяются, а проявляются как случайные функции;

- аналогично меняют свои параметры зоны ошибок позиционирования, аппроксимированные условно эллипсами, с координатами центра в пределах $X=+5 \dots -6$ мм $Y=+3,7 \dots -4$ мм;

- размах параметров траекторий (рис. I) может характеризоваться отклонениями δ в местах точек перегибов f_i на L^*

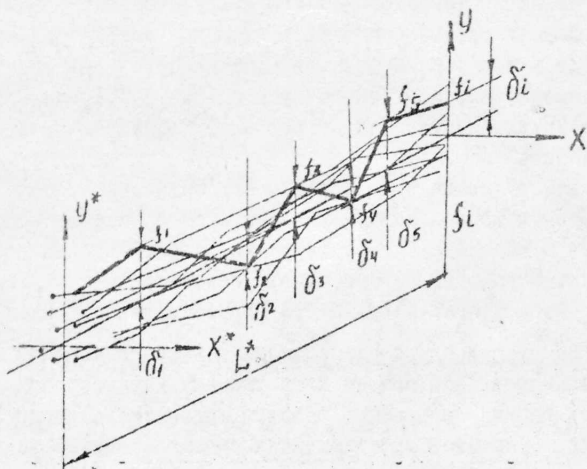


Рис. I. Совокупность реализаций фиксированных точек на участке перемещения L^* . Характеристика параметров траекторий величиной δ и количеством точек f перегибов на рассматриваемом участке.

рассматриваемом участке L^* , зависит от состояния направляющих, условий трения и т.п. и находится в пределах 12...15 мкм;

- анализ результатов показывает, что фиксированная точка на рабочем органе занимает положение близкое к значению программируемой координаты, но практически никогда не оказывается совмещенной с ней. Это может быть объяснено величиной дискреты линейной измерительной системы, т.е. её разрешающей способностью. Например, если дискрета измерительной системы составляет 10 мкм, то идеально жесткая система обрабатывала бы команды на перемещение рабочих органов с точностью 10 мкм. Зона в 10 мкм, могла бы рассматриваться как зона нечувствительности или "мертвая зона";

- конечное положение фиксированной точки W , как конца реализации возможно характеризовать на плоскости в соответствующей координатной системе X^I ; Z^I (рис.2).

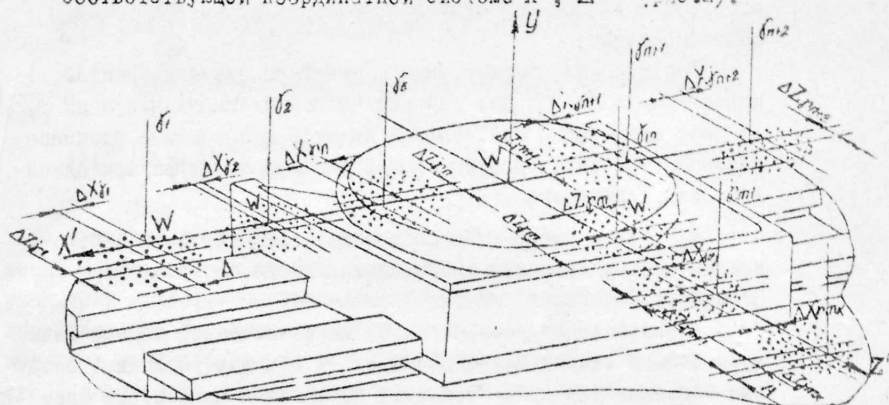


Рис.2. Схематическое представление осуществления точности позиционирования точки W по координатным осям X и Z как конца реальной траектории (с учетом ввода коррекций от системы ЧПУ) на участки L_x и L_z , A - одиночная дискрета перемещений.

Определено, что область состояний, образованная совокупностью реализаций - является реакцией стачечной системы на воздействующие эксплуатационные факторы. Ориенте этой области в значительной степени зависит от уровня силовых факторов. Определено, что факторами, оказывающими доминирующее влияние на процесс образования областей состояний по точности перемещений и позиционирования являются: геометрические параметры направляющих, переменное трение и жесткостные характеристики привода.

Комплексные исследования проведенные по второму этапу показали, что используя в полном объеме возможности современных систем ЧПУ, при существенных конструкциях системы "привод - стол" не удастся осуществить позиционирование рабочих органов (стола) внутри одной дискреты перемещения.

Для повышения точности необходимо рассмотрение процессов позиционирования на микроуровне, т.е. — в пределах одной дискреты с учетом параметров траекторий характеризующих движение стола.

Это требует рассмотрения физических закономерностей, характеризующих процесс движения и позиционирования на базе разработки специальных методов и средств — позиционирование рабочих органов (фиксированной точки) внутри одной дискреты перемещений.

В третьей главе даны физические представления, объясняющие погрешность позиционирования стола, отнесенные к фиксированной точке W .

Использование разработанной математической модели дает возможность теоретически исследовать влияние различных входных сигналов для любой желаемой комбинации параметров системы.

Математическая модель включает импульсную функцию $\varphi(t)$. Поскольку именно единичными импульсами соответствующих параметров возможно обеспечить малые перемещения рабочих органов в зонах привода станка.

Математическая модель движений твердого тела представляется в следующем виде:

$$m\ddot{x}(t) + \beta_1[\dot{x}(t) - v] + K[x_0 + vt - x(t)] + [F - \beta_2\dot{x}(t)] = \varphi(t).$$

$\ddot{x}(t)$ — ускорение твердого тела,

t — текущее время,

K — приведенная жесткость привода,

m — масса,

β_1 — коэффициент вязкого затухания,

$F - \beta_2\dot{x}(t)$ — сила кинетического трения при этом,

$x(t)$ — перемещение твердого тела,

$\dot{x}(t)$ — скорость твердого тела,

F — постоянная составляющая,

β_2 — коэффициент пропорциональности падающей характеристики по скорости,

v — постоянная скорость движения двигателя.

Правая часть уравнения представлена импульсной функцией следующего вида:

$$\varphi(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \{ \eta(t-nT) - \eta[t - (nT + \frac{T}{2})] \}.$$

где: $\eta(t)$ — единичная функция Хевисайда, определяемая, как:

$$\eta(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t > 0, \\ 0, & \text{если } t < 0. \end{cases}$$

Применяя операторный метод, заключающийся в преобразовании Лапласа обеих частей уравнения и сведении исходного уравнения к вспомогательному (линейному алгебраическому) представилось возможным вычислить значения перемещений движущегося рабочего органа для любого времени t . В силу своей объемности данные вычисления были реализованы с помощью ЭВМ. Это позволило также провести широкие исследования по оценке влияния отдельных факторов.

Моделирование на ЭВМ погрешностей позиционирования осуществлялось по методике, которая предусматривала фиксирование на принятых уровнях всех переменных факторов, кроме одного, значение которого в определенной последовательности изменялось в области существования этого фактора. Оценка подвергались наиболее характерные факторы как-то: приведенная жесткость привода; перемещаемая масса; коэффициент трения; скорости перемещения на последней ступени замедления; импульсная функция.

Особой задачей являлось определение интервалов варьирования для каждого фактора, с установлением основных уровней — наиболее вероятных значений. На основании эксплуатации данного вида станка на заводе-изготовителе были установлены интервалы варьирования и значимость каждого исследуемого фактора. Например:

- величины подач от 20...10000 мм/мин;
- величины результирующей силы резания от 50...5000Н;
- величины перемещаемой массы от 8000Н...17000Н.

Установлено, что в качестве параметра, имеющего наибольший резерв повышения точности позиционирования целесообразно использовать характеристики импульсной функции $\varphi(t)$, а также значение коэффициента трения f_1 .

Сравнение серии вычисленных значений параметров позиционирования с экспериментальными при одних и тех же состояниях системы показало, что расхождение не превысило 20%. В работе доказана адекватность математической модели реальной системы, когда примененный математический аппарат описывает функции, реализуемой системы.

Проведенное моделирование позволило выявить возможности по увеличению точности позиционирования и указать направление конструкторско-технологических мероприятий для реализации этих возможностей.

В четвертой главе предложены конструкции электроимпульсного привода и устройств повышающих плавность и чувствительность перемещаемых подвижных органов.

Предложена конструкция электроимпульсного привода, отвечающая следующим требованиям:

- обеспечение малых перемещений (десять доли микрометра) в приводе с направляющими скольжения;
- легкость бесступенчатого и ступенчатого регулирования;
- высокое быстродействие;
- универсальность;
- простоту встройки в существующие приводы подачи.

Принцип работы электроимпульсного привода основан на электромагнитном взаимодействии между исполнительным органом (стол, салазками) и неподвижной частью станка (салазками станины), при этом электромагнит является генератором элементарных механических перемещений (шагов), из которых складывается движение исполнительных органов станка в пределах зоны нечувствительности.

Принципиальная схема формирования импульсов питания, основана на тиристорной схеме с широтноимпульсным регулированием.

На рис.3 показана схема поясняющая процесс позиционирования при применении электроимпульсного привода в сочетании с приводом грубых перемещений.

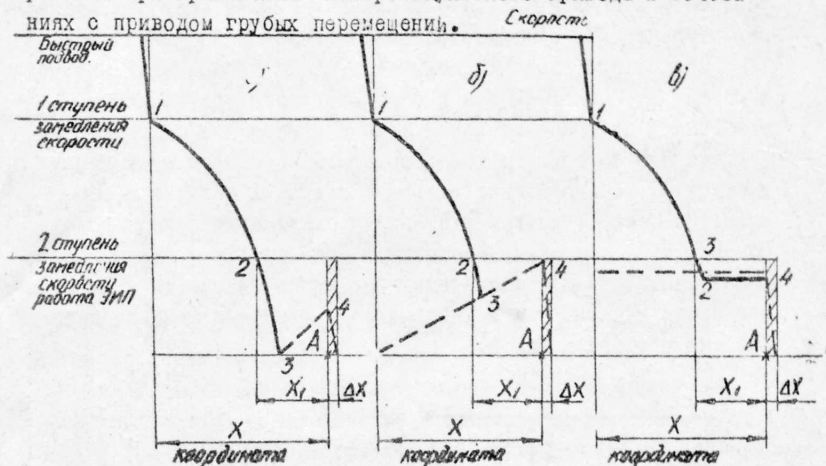


Рис.3. а,б,в. Циклограммы работы электроимпульсного привода;

а- последовательный;

б- последовательный с опережением момента включения;

в- параллельный; $\Delta X = \pm \text{дискрета}$

1-2-3 - работа привода грубых перемещений;

3-4 - работа электроимпульсного привода.

Наиболее эффективное позиционирование будет при одновременной работе обоих приводов (в). Импульсное воздействие устраняет упругую составляющую привода, а в зоне окончательного останова стола обеспечивает перемещение на величину заданную импульсом.

В диссертации приводятся варианты конструктивного исполнения электроимпульсного привода, данные по испытанию станка координатно-измерительной машины, исследованы характер перемещения и форма нарастающего напряжения на катушке электроимпульсного привода, а также процессы возникающие в устройстве во время работы.

На основании проведенных экспериментов установлено, что электромпульсный привод обеспечивает точность позиционирования в пределах 0,3... 0,5 мкм и повышает скорость последних ступеней при останове рабочих органов в 20 раз.

Кроме того, для повышения плавности перемещения рабочих органов автором предложен способ разгрузки направляющих, основанный на принудительной подаче аэрозоли в стык направляющих. Эта система подачи аэрозоли не нарушает контактной жесткости. Установленная величина давления поддува обеспечивает непосредственный контакт участков сопряженных поверхностей, т.е. сохраняет контактную жесткость и снижает коэффициент трения, что способствует повышению плавности и чувствительности перемещения и устойчивости движения механической системы привода в целом.

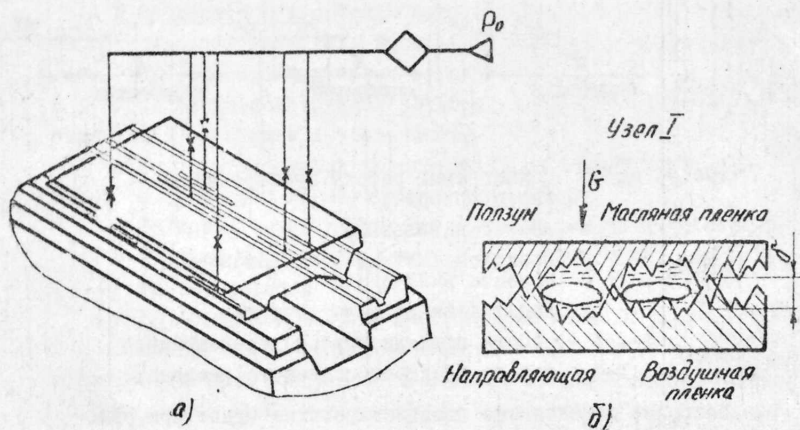


Рис. 4. а - Схема подвода смеси и элементы конструкции направляющих;

б - графическая модель процесса (G - нагрузка, δ - сближение поверхностей за счет контактной деформации).

На рис. 4 изображены схемы подвода аэрозоля, смеси и элементы конструкции направляющих.

Серия испытаний разработанных устройств доказала надежность их функционирования и возможность применения в серийно-выпускаемых многооперационных станках.

Как показали экспериментальные исследования коэффициент трения уменьшает 4-5 раз и равен 0,03... 0,05. Наличие этой системы позволяет применить авторегулирование величины силы трения от воздействия силовых факторов.

В пятой главе излагаются результаты экспериментальных исследований привода подач стола проведенных по методике, разработанной в главе 2. Многооперационный станок модели КМЦ-600 с внедренными конструктивными мероприятиями, изложенными в главе 4, исследовался в широком диапазоне эксплуатационных нагрузок. При исследовании характеристик привода в начале оценивался эффект от установки электроимпульсного устройства, а затем определялись выходные параметры привода с дополнительным включением системы гидро-пневматической разгрузки направляющих.

Для регистрации положения стола в пределах одной дискретности, предложено использование в качестве датчика обратной связи - лазерного интерферометра модели ИПЛ-ТОК с ценой деления (дискрета) 0,1 мкм. В работе приводятся электронные схемы управления различных режимов отсчета совместной работы отсчетно-измерительной системы лазера и приводов станка.

Оценка параметров привода производилась также с помощью оптико-электронной системы, разработанной на кафедре АМ-1 МВТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора А.С. Проникова.

Оценка качественных характеристик конструктивно-измененного привода производилась путем сравнения с прежней конструкцией параметров областей состояний траекторий аппроксимированных эллипсами, полученных экспериментальным путем во всем диапазоне перемещений.

Исследование характеристик системы привод подач - подвижный рабочий орган многооперационного станка КМЦ-600 показало, что точность позиционирования рабочих органов повысилась в два раза от встроенного электроимпульсного привода и на 80% от системы пневморазгрузки направляющих по сравнению с позиционированием стола лишонного разработанных устройств. Таким образом, для данной станочной системы существенно повышена параметрическая надежность.

Анализ результатов, многократные опыты показали преимущество разработанных устройств и доказали, что они могут применяться при высоких требованиях точности и изготовлению деталей.

Разработанными системами снабжены ряд многооперационных станков: РС8-500;МС30-500; КМЦ-600; СКФ-5-400 и другие используемых для изготовления деталей с долемикронной точностью.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная частная методика оценки технического состояния многооперационного станка КМЦ-600 и предлагаемой системы привод подач - подвижный рабочий орган позволяет на стадии проектирования и при наличии опытного образца учитывать параметры обеспечивающие заданным точностям перемещений и позиционирования.

2. Установлено, что доминирующими факторами, влияющими на точность позиционирования и перемещений, особенно в зоне нечувствительности, являются геометрические параметры направляющих, переменное трение и жесткостные характеристики привода. С учетом этих факторов вскрыты физические закономерности, объясняющие процессы микроперемещений, предложена математическая модель формирования траекторий движения и останова стола, проверена её адекватность.

3. На основе детерминированной модели, вскрывающей связь, выходных параметров точности позиционирования стола станка с физическими процессами происходящими в станке, осуществлен переход к вероятностной модели механизма образования реальных процессов позиционирования.

4. Произведены экспериментальные исследования многооперационного станка КМЦ-600, дана оценка качественных характеристик системы привод подач - подвижный рабочий орган по предполагаемой методике, которые показали варианты сокращения численных границ областей позиционирования.

5. Разработано, изготовлено и испытано электроимпульсное устройство привода подач, позволяющее повысить точность перемещений и останова подвижных рабочих органов станков (стола, салазок и т.д.), особенно в зоне нечувствительности замкнутой системы.

Предложен способ повышения плавности и чувствительности перемещений рабочих органов станков за счет системы аэростатической разгрузки направляющих смешанного трения с сохранением контактной жесткости направляющих.

6. Произведены экспериментальные исследования многооперационного станка КМЦ-600 и координатно-измерительной машины КМЦ-600 с учетом конструктивных мероприятий. Последние показали, что разработанный электроимпульсный привод повысил точность позиционирования подвижных рабочих органов в 2 раза, а использование аэростатической системы разгрузки направляющих - на 30-40%.

7. Практический результат проведенной работы заключается в достоверной оценке конструктивного качества системы привод подач - подвижный рабочий орган на основе вероятностного рассмотрения случайных физических процессов, происходящих в станочной системе при выполнении ее технологического цикла.

8. Результаты диссертационной работы были использованы при выполнении исследовательских тем, при разработке технической документации на Владимирском производственном объединении "Техника". Фактический годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых устройств составляет 125 тыс. рублей, а от внедрения системы оценки качественных характеристик системы "привод подач - подвижный рабочий орган" многооперационных станков по точностям перемещений и позиционирования 1,8 млн. рублей.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1) Дмитриев Н.И. Роль научных исследований и их место в производстве. Все резервы на службу пятилетки. Материалы городской научно-практической конференции. Владимир, 1973, с 61-64.

2) Дмитриев Н.И. Исследование импульсного привода микроподач для станков с адаптивными системами управления. Материалы десятой научно-практической конференции НТО. Владимир, 1975, с 121.

3) Дмитриев Н.И. Совершенствование системы управления научно-исследовательскими работами на производстве. Пути повышения интенсификации производства и улучшения качества продукции. Материалы городской научно-практической конференции. Владимир, 1977, с 73.

4) А.С.220721 (СССР). Устройство для выставки сельсинов. Н.И.Дмитриев - опубл. в Б.И. 1968, № 20.

5) А.С.297809 (СССР). Гидравлический шаговый двигатель. Н.И.Дмитриев, В.Э.Пущ, О.Н.Трифонов - опубл. в Б.И. 1971, № 10.

6) А.С.327343 (СССР). Аэрогидростатическая муфта. И.А.Соловьев, Н.И.Дмитриев - опубл. в Б.И. 1972, № 5.

7) А.С.509387 (СССР). Способ повышения плавности и чувствительности перемещения подвижных органов. Н.И.Дмитриев - опубл. в Б.И. 1976, № 13.

8) А.С.368423 (СССР). Направляющие смешанного трения. Н.И.Дмитриев - опубл. в Б.И. 1973, № 9.