

М123613

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

— — —
Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

ассистент А. И. НАБЕРЕЖНЫХ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
УСТРОЙСТВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ
РАЗМЕРОВ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКОЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОЦЕССА
ШЛИФОВАНИЯ**

(№ 05.251. Метрология и взаимозаменяемость)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва

1971

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

Научный руководитель —

кандидат технических наук, доцент Воронцов Л. Н.

Официальные оппоненты:

д. т. н., проф. Шаумян Г. А. (МВТУ им. Баумана),

к. т. н., доцент Добрынин Е. М. (МАИ).

Ведущее предприятие — завод им. Лихачева.

Автореферат р

Защита диссертации
на заседании Уч.
механизация пр
адресу: Москва

С диссертаци
лища.

Учен

канд

1 г.

Г.

и

по

ин-

А.

M123613

Целью работы является исследование точности системы СПИД-УАК, разработка и исследование автоматически настраивающихся устройств управляющего контроля, производящих контролируемые изменения параметров настройки по размерам обработанных изделий, для повышения точности процесса обработки на кругло-шлифовальных станках.

В В Е Д Е Н И Е

Рост производительности труда в народном хозяйстве и развитие экономики СССР во многом определяется масштабами комплексной автоматизации производства. Рациональные методы и средства измерения, контроля и управления производственными процессами являются базой любой металлообрабатывающей промышленности. В связи с этим важное значение приобретают вопросы разработки и внедрения устройств активного контроля (УАК) с автоматической настройкой. Автоматическая настройка системы СПИД-УАК может осуществляться на основе различных принципов: 1) Принцип компенсации возмущающих воздействия (разомкнутые системы); 2) Принцип отклонений (замкнутые системы).

В этих системах необходимо автоматическое измерение и контроль размеров обработанных изделий и их устреднение (статистическая обработка). Отклонение статистических величин от предписанных служит для формирования сигналов управления. Системы автоматической настройки по этому принципу получили название статистических устройств контроля, которые требуют точного знания того, какие из органов настройки влияют на контролируемый параметр и в какой мере. Если эти сведения отсутствуют, то требуется применение приспособляющихся систем к произвольно изменяющимся внешним и внутренним условиям работы. Что касается металлообрабатывающих станков, то здесь автоматически настраивающиеся УАК должны обладать свойством запоминания и обобщения опыта своей работы, вырабатывая новую программу, которая учитывала бы опыт обработки предыдущих изделий, т.е. производить контролируемые изменения параметров настройки или управляющие воздействия по размерам обрабатываемых изделий.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1123613

Набережных А.И. Разработк

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА РАССМАТРИВАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время наблюдается отставание техники измерений и контроля деталей в процессе их обработки от нужд металлообрабатывающей промышленности, которая предусматривает получение размеров деталей выше 1-го класса точности. Например, на обработку колец подшипников $\varnothing$ 10-50 мм на станке 6С185П установлен допуск 0,004 - 0,01 мм (при допуске по I-му классу точности 0,011 - 0,015 мм).

Существующие устройства активного контроля почти полностью исчерпали возможности повышения точности управляемого им технологического процесса. Поэтому возникла необходимость разработки новых, например, автоматически настраивающихся УАК. Эта проблема успешно может быть решена при условии автоматического измерения обработанных деталей на рабочей позиции и осуществления контролируемых изменений параметров настройки УАК. Можно выделить следующие известные методы повышения точности системы СПИД-УАК:

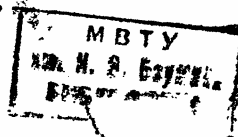
1/ Стабилизация параметров технологического процесса (режимов резания, припуска на обработку, температуры охлаждающей жидкости и т.д.) и повышение точности самих станков.

2/ Создание специальной контрольно-измерительной позиции вне зоны резания, где осуществляется измерение или контроль обработанных изделий, подсчет статистических параметров и выработка управляющего сигнала для автоматического смещения уровня настройки УАК. Эти системы имеют свои известные недостатки и в промышленности распространения пока не получили.

3/ Создание различных контуров самонастройки по результатам измерения возмущающих факторов (вибраций, скорости резания, температурных деформаций и т.д.).

Например, при обработке колец подшипника компенсация температурных погрешностей осуществляется по результатам измерения его внутреннего диаметра. Известны также системы, находящиеся в стадии разработки, позволяющие компенсировать влияние неустойчивости скорости съема припуска в конце цикла обработки на смещение уровня настройки УАК.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ



Процессы, имеющие место в системе СПИД-УАК настолько сложны и мало изучены, что не представляется возможным математически предрасчитать их влияние на точность обработки. Это подтверждается тем, что к смещению только первоначальных параметров настройки системы СПИД-УАК приводят следующие наиболее важные факторы:

- 1) нестабильность условий эксплуатации - непостоянство температурного режима (температуры охлаждающей жидкости, температуры помещения, температурных деформаций изделий), появление загрязнения элементов кинематической цепи, наличие посторонних источников вибраций и других помех;
- 2) износ измерительных наконечников, а также подвижных частей измерительных головок и т.д.;
- 3) непостоянство характеристик материала и отдельных узлов УАК по времени (старение электронных ламп и т.д.);
- 4) непостоянство измерительного усилия во времени, вследствие гистерезиса пружин и ферромагнитных материалов, непостоянства сил трения и т.д.;
- 5) непостоянство технологических характеристик оборудования - колебание скорости резания и подачи, затупления режущего инструмента, непостоянство элементов цикла и т.д.;
- 6) непостоянство свойств контролируемых деталей, величины припуска, погрешностей формы, шероховатости поверхности, твердости и т.д.

Для частичной компенсации указанных возмущающих факторов применяют следующие методы настройки УАК.

Метод настройки по результатам измерения первых обработанных пробных деталей позволяет скомпенсировать систематические составляющие погрешности, связанные с инерционностью системы СПИД-УАК, погрешностью настройки УАК, силовыми и температурными деформациями обработанных изделий и т.д. Метод обладает низкой производительностью и сложностью. По данным завода ЗИЛ метод настройки по пробным деталям требует 10+15 минут в начале смены и 3 + 5 минут в процессе работы.

Метод настройки по образцовым деталям требует многих образцов, но обладает большей производительностью.

Метод настройки на стенде обычно применяется на автоматических линиях, требует многих образцовых деталей и обладает пониженной точностью.

Метод автоматической настройки по образцовым деталям и размерам обработанным деталям, наиболее сложен, но точнее и производительней. Данный метод позволяет скомпенсировать основные систематические составляющие погрешностей системы СПИД-УАК.

ГЛАВА II. РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ УСТРОЙСТВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКОЙ

В этой главе дается разработка некоторых теоретических вопросов автоматически настраивающихся устройств управляющего контроля. Произведена классификация этих устройств. С точки зрения классификации автоматически настраивающихся УАК наиболее удобным классификационным признаком является используемая информация об управляемом процессе или системе. Обычно учитывается два вида информации: начальная (априорная) и рабочая. В результате разработанной классификации были выявлены основные схемы контура автоматической настройки, целесообразные к применению на круглошлифовальных станках: 1) УАК с подстройкой к входному сигналу; 2) УАК с подстройкой к изменяющимся параметрам и характеристикам; 3) УАК с компенсационной подстройкой.

Теоретические исследования показали, что точность автоматически настраивающихся УАК, построенных на базе существующих устройств активного контроля и экономическая эффективность в основном зависят от принятого критерия настройки. Для кругло-шлифовальных станков с УАК критерий настройки прежде всего должен отражать точностные характеристики системы СПИД-УАК, которые достаточно полно характеризуются следующими показателями:

1) Предельной погрешностью срабатывания; 2) Действительным смещением уровня настройки; 3) Предельной погрешностью воспроизведения размера в очередном рабочем цикле и погрешностью настройки.

Предельная погрешность срабатывания системы СПИД-УАК характеризует наивысшую возможную точность, которая может быть обеспечена при скорости резания в конце цикла обработки не более 1 мкм/сек. В результате исследования установлено, что предельная погрешность срабатывания современных УАК составляет порядка $\Delta \ell_{\text{lim}} = 6\sigma^2 = 0,1 \div 0,5$ мкм, а системы СПИД-УАК - $\Delta \ell_{\text{lim}} = 6\sigma^2 = 1 \div 3$ мкм, т.е. на порядок выше.

Комплексную точность системы СПИД-УАК можно охарактеризовать через случайную последовательность размеров обрабатываемых деталей в функции неслучайного аргумента (времени t или числа обрабатываемых изделий n), т.е. случайной дискретной функцией $Z(t)$:

$$Z(t) = E(t) + n'(t), \quad (1)$$

где $E(t) = \bar{M}[Z(t)]$ - математическое ожидание случайного дискретного процесса, характеризующего смещение действительного уровня настройки системы СПИД-УАК в функции времени; $n'(t) = \pm 3\sigma$ - центрированная чисто случайная функция с нормальным законом распределения около $E(t)$.

Задача интерполирования случайной числовой последовательности, в которой сказывается разброс, вызванный ошибками измерения и обработки, отличается от соответствующей задачи для математически табулированной функции. Обычно эти данные необходимо "сгладить", т.е. на основе некоторых статистических соображений следует уменьшить влияние случайных ошибок. Этот процесс сводится к задаче фильтрации, которая состоит в том, чтобы по известным значениям $Z(t)$ восстановить значение $E(t)$ с наименьшей ошибкой.

Известный метод, используемый нами для анализа точности системы СПИД-УАК, являющийся аналитическим аналогом построения кривой сглаживания, основан на применении четвертых разностей. Локальное сглаживание четвертыми разностями заключается в аппроксимации с помощью метода наименьших квадратов каждых пяти соседних значений Z_i параболой второго порядка:

$$E(t) = Z_i - \frac{3}{35} \sigma^4 Z_i, \quad (2)$$

где Z_i - значение средней из пяти ординат;

Центральная разность четвертого порядка подсчитывается по формуле

$$\delta^4 Z_i = Z_{i-2} - 4Z_{i-1} + 6Z_i - 4Z_{i+1} + Z_{i+2}; \quad i=2,3,\dots,n-2.$$

Биномиальные коэффициенты определяются по формуле бинома Ньютона

$$(1+t)^n = C_n^0 + C_n^1 t + C_n^2 t^2 + \dots + C_n^{n-1} t^{n-1} + C_n^n t^n \quad (3)$$

Таким образом, данный метод основан на предположении о близости математического ожидания $\bar{M}[Z(t)]$ в интервале $4 \Delta t$ к параболе второго порядка.

Для анализа точности технологических процессов нами использовался более точный метод сглаживания в целом с помощью разложения случайной дискретной функции в ряд Фурье и по полиномам Чебышева. Анализ данных методов показал, что сглаживание дискретных случайных функций наиболее точно, но связано с большим объемом вычислений и требует применения ЦВМ. Это делает невозможным применение их в качестве критерия настройки УАК. Для значительного сокращения объема вычислений по сравнению с известными методами автором предложен способ сглаживания случайной числовой последовательности методом многократного скользящего усреднения функции (I). Для этого случайная дискретная функция $z(t)$ заменяется новой дискретной функцией $\bar{z}'(t)$, которая сглаживает первоначальную функцию; значение сглаженных ординат функции $\bar{z}'(t)$ получаются при скользящем последовательном усреднении ординат Z_i функции $z(t)$; $i=0,1,2,\dots,n-2$ на интервале времени $\ell \Delta t$, $\ell=2$ и $\Delta t=1$.

Операция усреднения выполняется по формуле

$$\bar{z}'(t) = \frac{1}{\ell} \sum_{j=0}^{\ell-1} Z_{i+j}; \quad i=0,1,2,\dots,n-2 \quad (4)$$

Затем сглаженная функция $\bar{z}'(t)$ заменяется $\bar{z}^2(t)$, $\bar{z}^2(t)$ заменяется функцией $\bar{z}^3(t)$ и т.д.

Чтобы избежать многократного процесса сглаживания по формуле (4), например, при определении ординат функции $\hat{z}^n(t)$, автором предложена следующая формула:

$$\hat{z}^n(t) = \frac{C_n^0 \hat{z}_{i-1/2} + C_n^1 \hat{z}_{i-(1/2-1)} + \dots + C_n^k \hat{z}_{i-(1/2-k)} + \dots + C_n^n \hat{z}_{i-(n/2-n)}}{2^n} \quad (5)$$

Здесь значения биномиальных коэффициентов определяются по формуле бинама Ньютона

$$(1+t)^n = C_n^0 + C_n^1 t + C_n^2 t^2 + \dots + C_n^{n-2} t^{n-2} + C_n^{n-1} t^{n-1} + C_n^n t^n$$

осуществляя последовательно сдвиг вправо на один номер i ординат функции $\hat{z}^{n-1}(t)$, определяются значения

$$\hat{z}_{i+1}^n, \hat{z}_{i+2}^n, \hat{z}_{i+3}^n, \hat{z}_{i+4}^n \quad \text{и т.д.}$$

Нужно отметить, что предложенный нами способ основан на гипотезе о близости математического ожидания $M[\hat{z}(t)]$ к дискретной функции, получаемой при скользящем прохождении ординат $\hat{z}_i$ функции (I) через память фильтра, состоящего из кодовых чисел, представляющих собой числовую последовательность вида:

$$\frac{C_n^0}{2^n} + \frac{C_n^1}{2^n} + \frac{C_n^2}{2^n} + \frac{C_n^3}{2^n} + \dots + \frac{C_n^{n-1}}{2^n} + \frac{C_n^n}{2^n} \quad (6)$$

Например, для получения сглаженной функции $\hat{z}^2(t)$, $\hat{z}^4(t)$ и т.д. применяются кодовые числа:

$$0,25 + 0,5 + 0,25 \quad (7)$$

$$0,0025 + 0,25 + 0,375 + 0,25 + 0,0625 \quad (8)$$

.....

Используя технику "подвижной полосы" операция по сглаживанию случайных дискретных функций числовой последовательности (δ) легко осуществляется на ЦВМ, различных клавишных вычислительных устройствах типа "САР" и т.д., которые могут в цеховых условиях использоваться в качестве статистических анализаторов точности системы СПИД-УАК.

Если в результате эксперимента можно получить одно из двух значений А или В (например, речь идёт о появлении размера в очередном рабочем цикле выше или ниже математического ожидания) то частота κ появления результата А (при полном числе испытания n) подчиняется биномиальному распределению. Если вероятность результата А в одном испытании равно p (при этом вероятность В равна $1 - p = q$), тогда вероятность обнаружить А в κ из n испытаний равна κ -му числу разложения $(p + q)^n$ в ряд, т.е.

$$P(\kappa) = \frac{n!}{\kappa!(n-\kappa)!} p^\kappa q^{(n-\kappa)}; \quad \kappa = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Ввиду того, что появление размера выше или ниже центра группирования в очередном рабочем цикле равновероятно, то принимаем $p = q = 0,5$ и разложив значение $(0,5 + 0,5)^n$ по формуле бинома Ньютона получим значение вероятностей при $n=2, 4, 6, 8, 10 \dots$ испытаниях. Затем математическое ожидание дискретной случайной функции $z(t)$ определяется следующим образом:

$$\bar{M}[z(t)] = \sum_{i=1}^N P_i z(t_i) \quad (9)$$

Если распределение вероятности нормальное, то кодовые числа определяются по известной формуле $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$, т.е. кодовые числа будут равны :

$$0,0044 + 0,054 + 0,242 + 0,398 + 0,242 + 0,054 + 0,0044$$

Далее, применяя метод скользящего усреднения определяют сглаженную функцию $\bar{z}^n(z_i)$.

По точности сглаживания случайной дискретной функции (I) ряды Фурье и полиномы Чебышева равнозначны значениям, определяемым по формуле (6) при $n = 8$ и $n = 10$. Однако, по объёму вычислений сглаживание полиномами Чебышева и рядами Фурье в 5 + 10 раз больше чем по формуле (6). Точность сглаживания различных методов определялась следующим путем: к значениям ординаты известной функции (синусоиде, кубической параболы и т.д.) добавлялись случайные отклонения, обладающие, напри-

мер, нормальным распределением с единичной дисперсией. Для решения поставленной задачи использовалась программа вычислительной машины "Проминь-М".

Рассмотренные математические методы сглаживания позволили наиболее эффективно определить точностные характеристики системы СПИД-УАК.

Исходными данными для расчета точностных характеристик системы СПИД-УАК являлись результаты измерения размеров деталей на универсальных измерительных средствах, имеющих точность на порядок выше точности заданной обработки. Размеры обработанных деталей замерялись сразу после обработки и после их температурной стабилизации.

Рассмотрим точностные характеристики при обработке конических колец подшипника Ø 158 с УАК типа I456.

Получены следующие характеристики точности при анализе случайной последовательности чисел размеров "теплых деталей":

- 1) случайное рассеивание размеров деталей $-3\sigma = \pm 2$ мкм;
- 2) систематическое смещение центра группирования $-0,09$ мкм/шт;
- 3) случайное смещение центра группирования $-3\sigma = \pm 1,2$ мкм;
- 4) среднее значение погрешности формы $-3,5$ мкм;
- 5) случайное отклонение погрешности формы $-3\sigma = \pm 1,5$ мкм.

Соответственно, характеристики точности холодных деталей: 1) $3\sigma = \pm 2,25$ мкм, 2) $0,065$ мкм/шт; 3) $3\sigma = \pm 2,5$ мкм; 4) $3,6$ мкм; 5) $3\sigma = \pm 1,6$ мкм.

Нужно отметить, что суммарное систематическое смещение центра группирования от силовых и температурных деформаций колебалось в пределах от 6 до 18 мкм; случайное смещение центра группирования $-3\sigma = \pm 2,5$ мкм.

Проведенный анализ погрешностей показал, что наибольшая точность обеспечивается при соблюдении принципа инверсии, т.е. при автоматическом измерении обработанных деталей и образцовых деталей на рабочей позиции после окончания процесса обработки и в процессе их вращения в центрах и определения закона изменения математического ожидания по предложенным (см. в) формулам сглаживания.

Разработанный аналитический и графо-аналитический метод исследования характеристик динамической точности автомати-

чески настраивающихся систем позволяет выявить, рассчитать и дать рекомендации по уменьшению основных погрешностей контура автоматической настройки УАК.

ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК УСТРОЙСТВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Измерение и контроль размеров деталей автоматически настраиваемыми головками, которые являются основным узлом УАК, производится в процессе обработки изделий, т.е. при интенсивных динамических режимах. Поэтому динамические характеристики точности (скорость свободного перемещения измерительных и базовых рычагов, величины инерционных сил, вызывающих их отрыв, длительность и величина отрыва) определялись с учетом поведения измерительных и базовых опорных масс, связанных между собой упругими подвесами. Экспериментально установлено, что существующие измерительные усилия при оборотах изделия 100 + 300 об/мин. позволяют базовым и измерительным массам работать без отрыва при погрешностях формы деталей, лежащих по амплитуде в пределах $I \pm 50$ мкм, и вибрациях изделия с частотой 200 + 800 гц и амплитудах $I \pm 3$ мкм.

Анализ многочисленных схем измерительных головок УАК показал, что их основные типы можно представлять как двухмассовые системы (измерительные и базовые массы, связанные пружинными подвесами), образующие с деталью замкнутую силовую пару. Это дало возможность применять для расчета характеристик динамической точности головок УАК широко разработанный математический аппарат для колебательных систем с двумя степенями свободы. Отрыв базовых и измерительных масс головки УАК определяется предельной величиной инерционных сил, имеющих место при наличии погрешности формы обрабатываемых изделий и их вибрациями. Для элементарных некруглостей

$$I_0 = \frac{4\pi^2 f_A S_a}{9807}$$

где S_a - амплитуда погрешности формы в мм;
 $f_A = \frac{n}{60} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} = f_n$ - частота прохождения погрешности формы под измерительным наконечником;

λ - количество волн, укладываемых на периметре поперечного сечения с радиусом r_0 ;

$\mathcal{J}g$ - амплитуда ускорения в единицах $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$.

Далее было показано, что критическая частота и амплитуда отрыва измерительной или базовой массы комплексно зависит от создаваемого измерительного усилия и массы, т.е. от критической амплитуды ускорения, которая для базовых масс составляет $\mathcal{J}g = 12 \pm 20 \text{ м/сек}^2$, а для измерительных масс $\mathcal{J}g = 50 \pm 100 \text{ м/сек}^2$.

Теоретические выводы, сделанные нами, позволили дать рекомендации по конструированию измерительных головок и их подвесок. Так, например, была сконструирована автоматически настраиваемая индуктивная скоба настольного типа с пружинным подвесом, имеющая три точки контакта. Наличие в скобе клинового устройства с ценой деления $0,5$ и 1 мкм , позволило автоматически с высокой точностью определять амплитудно-частотные характеристики различных измерительных преобразователей (индуктивных, емкостных и пневматических) в идентичных условиях.

ГЛАВА IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ СПИД-УСТРОЙСТВО АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКОЙ

В этой главе проведены исследования характеристик динамической точности системы СПИД-УАК как исполнительного устройства контура автоматической настройки. Система СПИД-УАК представляет собой единую динамическую систему. Все погрешности этой системы переносятся на размеры обрабатываемых изделий. Поэтому нельзя однозначно определять динамические характеристики системы СПИД-УАК, не рассматривая обрабатываемое изделие. Обычно инерционность системы СПИД изменяется в зависимости от жесткости обрабатываемого изделия и натягов в этой системе. В работе предложена методика и осуществлены теоретические исследования инерционности системы СПИД-УАК, путем определения величины перебега шлифовальной бабки за уровень настройки в режиме торможения противовключением. Определено время нахождения шлифовальной бабки за уровнем настройки. Проведены тео-

ретические исследования наиболее важных составляющих элементов системы СПИД: релейных преобразователей, золотниковых устройств и гидравлических исполнительных элементов. Было показано, что для определения влияния входных сигналов с частотой, превышающих несущую (опорную) частоту измерительного преобразователя, на характеристики динамической точности УАК, необходимы экспериментальные исследования, так как теоретические зависимости дают весьма приближенные результаты.

ГЛАВА У. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКОЙ

В этой главе диссертации освещены результаты работ по созданию и внедрению новых автоматически настраивающихся устройств управляющего контроля и проведены экспериментальные исследования, подтверждающие основные теоретические положения работы. В частности, рассматриваются результаты разработки и исследования УАК с автоматической настройкой как по образцовой детали, так и по размерам обработанных изделий. Система с автоматической настройкой по образцовым деталям позволяют компенсировать смещение параметров настройки собственно УАК, например, от износа измерительных наконечников, дрейфа нуля и от силовых и температурных деформаций измерительных головок УАК. Контур автоматической настройки УАК представляет собой релейную следящую систему, осуществляющую измерение по компенсационному принципу.

Существующие УАК, как правило, настраиваются вручную по размерам пробных деталей, т.е. контроль параметров качества системы СПИД-УАК вынужден осуществлять рабочий. Это ведет к потере производительности и точности. Например, при обработке коленчатых валов с УАК типа "Марпосс" случайная погрешность обработки составила - $3\sigma = \pm 2,3$ мкм, а колебание центра группирования в пределах 10 мкм.

Поэтому нами разработана система, позволяющая устранить существующие недостатки УАК. Принцип работы такой системы заключается в следующем. После того как изделие обработано и шлифовальная бабка получила команду на отвод, измеритель-

ная головка с командного блока УАК переключается на контрольно-измерительный блок, представляющий собой, например, пневмоэлектроконтактный датчик. Значение размера, определенного при вращении детали, передается в статистический анализатор, определяющий текущее значение центра группирования по формуле (6). По положению текущего значения центра группирования производится автоматическая коррекция уровня настройки командного блока УАК. Для компенсации погрешности собственно УАК периодически производится автоматическая настройка по образцовой детали контрольно-измерительного блока контура самонастройки.

Нами также разработана система / 9 / на базе емкостного УАК, где отклонение действительного размера Δ_i от предписанного измеряется компенсационным методом. Значение величины Δ_i или $\frac{\Delta_i}{2}$ каждого изделия алгебраически суммируется и запоминается на корректирующем потенциометре, управляющего уровнем срабатывания УАК. После каждого цикла измерения компенсационный реохорд возвращается в положение соответствующее образцовому изделию. В это время ось корректирующего потенциометра затормаживается.

В тех случаях, когда быстроедействие настройки играет решающую роль, величина погрешности обработки Δ_i определяется дискретным методом при помощи безинерционных триггерно-релейных ячеек. В остальном эта система идентична предыдущей. Разработанные системы позволяют компенсировать не только погрешности собственно устройств активного контроля, но и погрешности, свойственные системе СПИД-УАК и технологическому процессу. Благодаря измерению обработанных изделий в процессе вращения компенсируется также и динамическое смещение уровня настройки от погрешности формы. Для тех случаев, когда элементы настройки приходится располагать на измерительной головке УАК, нами разработана точная клиновая передача, перемещаемая с помощью сервопривода, применительно к трех и двухконтактным скобам.

ГЛАВА VI. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель экспериментальной части диссертации – подтверждение основных теоретических положений работы, проведение опытно-конструкторских работ для получения необходимых данных при проектировании новых автоматически настраивающихся устройств управляющего контроля и создание методики проведения испытаний, позволяющих выявлять основные характеристики точности и надежности этих систем.

Экспериментально проверены аналитические выражения, описывающие динамические процессы в измерительных головках автоматически настраивающихся УАК. Динамика измерительных головок характеризуется следующими основными показателями: 1) критической амплитудой ускорения в единицах $J_g = 9,81 \text{ м/сек}^2$, при которой происходит отрыв базовых или измерительных наконечников; 2) времени и амплитудой отрыва базовых и измерительных наконечников от вибрирующей поверхности; 3) скоростью свободного перемещения базовых и измерительных наконечников под действием упругих сил пружин, создающих измерительное усилие.

Действительная критическая амплитуда ускорения J_g , для каждого типа измерительных головок УАК задана конструктивно и является постоянной, что объясняется неизменностью измерительного усилия и постоянством базовых и измерительных масс. Для определения J_g можно использовать различные типы электродинамических вибростендов.

Экспериментально было установлено, что в большинстве случаев амплитуда ускорения отрыва для базовых наконечников колеблется в пределах $J_g = 12 \div 20 \text{ м/сек}^2$, а для измерительных масс головок УАК – $J_g = 50 \div 100 \text{ м/сек}^2$. Определение скорости свободного перемещения базовых и измерительных наконечников определялось при помощи регулируемых контактов и миллисекундомера МС-1. Так, например, средняя скорость свободного перемещения измерительного наконечника датчика типа БВ-1000 составила $V = 120 \text{ мм/сек}$.

Экспериментально проверены амплитудно-частотные характеристики индуктивных дифференциальных и мостовых схем, ёмкост-

ных и пневматических преобразователей. Так было установлено, что датчик типа АК-3, имеющий питающую частоту $f = 50$ гц, практически не реагирует на колебания измерительного наконечника с любой амплитудой в пределах измерения на частотах свыше $250 + 300$ гц. Экспериментально проверена максимальная скорость преобразования механических перемещений измерительных наконечников в электрический, емкостной, пневматический и т.д. сигнал. Например, для сифонного пневматического преобразователя последовательно определялась: скорость свободного перемещения сифонной подвески под действием упругих сил $U = 135$ мм/сек и скорость перемещения сифонной подвески при мгновенном открытии и закрытии измерительного сопла, т.е. при заполнении её воздухом или истечении из неё воздуха. Для выявления переходной функции пневматических систем разработан клиновой стенд. Клин ступенчато перемещается в пределах ± 200 мкм за время $3 + 20$ м-сек.

Разработана методика и экспериментально определены основные характеристики динамической точности системы СПИД-УАК. Для определения времени срабатывания УАК, времени запаздывания отвода шлифовальной бабки, её перебега и времени нахождения за уровнем настройки нами разработана измерительная головка, наконечник которой безотрывно следует за перемещающейся шлифовальной бабкой. Перебег шлифовальной бабки и время её нахождения за уровнем настройки при различных подачах определялось с помощью электроконтактного датчика и миллисекундомера МС-1. Таким же образом определялось как комплексное время срабатывания системы СПИД-УАК, так и время срабатывания каждого элемента в отдельности.

В работе показано, что наивысшая статическая точность УАК определяется погрешностью срабатывания. Наивысшая точность системы СПИД-УАК должна вычисляться по размерам обработанных деталей с подачей в конце цикла не более 1 мкм/сек. Нами также выявлена зависимость положения уровня срабатывания системы СПИД-УАК от величины подач и точность обработки при заданных подачах шлифовальной бабки. Получены экспериментальные зависимости смещения уровня настройки системы СПИД-УАК от износа измерительных наконечников и от колебаний, вызываемых погрешностью формы заготовки, нагрева электро-схемы и изменения температуры окружающей среды.

Экспериментально определено смещение уровня настройки системы СПИД-УАК от погрешности формы (регулируемая или нерегулируемая овальная оправка). Скорость вращения оправки изменялась плавно ступенями в пределах $40 + 60$ об/мин. При фиксированной скорости вращения овальной оправки производилась настройка УАК до быстрого отвода шлифовальной бабки. Смещение уровня настройки системы СПИД-УАК в зависимости от частоты вращения овала определялась или по величине сигнала на осциллографе, или по размерам деталей, обрабатываемых с подачей в конце цикла не более 1 мкм/сек.

Для определения переходной функции УАК, смещения уровня настройки в зависимости от длительности и частоты следования ступенчатых сигналов нами разработан стенд, величина амплитуды сигнала в котором задается с помощью диска с эталонными шариками и регулируемого винта. Длительность сигнала [8] плавно регулируется изменением скорости вращения диска. Длительные производственные испытания разработанных автоматических настраивающихся УАК на заводе ЗИЛ (было обработано около 800 тыс. коленчатых валов без нарушения цикла производственного процесса) показали их высокую точность и надежность. Точность автоматической настройки по эталону составляет $\pm 0,25$ мкм, а по размерам обработанных изделий $1 + 2$ мкм. Системы с автоматической настройкой по размерам обработанных изделий позволили повысить точность обработки в $2 + 3$ раза.

В ы в о ы

В результате работы выполнено следующее:

I. Разрешены конкретные вопросы прикладной теории точности системы СПИД-УАК с автоматической настройкой: определены основные погрешности, характеризующие точность обработки с применением УАК, созданы графо-аналитические методы расчета суммарной погрешности, разработаны средства и методы экспериментального определения отдельных составляющих и суммарных погрешностей. Обобщающим результатом работы явилось создание средств и методов проверок УАК с автоматической настройкой, нашедших отражение в руководящих технических материалах.

2. Комплексная точность системы СПИД-УАК проявляется через случайную последовательность размеров обработанных деталей. Для определения текущего значения математического ожидания реализации дискретной случайной функции предложен метод сглаживания кодовыми числами, определяемыми вероятностями биномиального или нормального распределения. Данный метод в 5 + 10 раз сокращает вычислительный процесс по сравнению с известными методами сглаживания, что позволило применить в качестве статистических анализаторов широко распространенные счетно-решающие устройства типа "САР".

3. Измерительные головки УАК работают в динамическом режиме, определяемом погрешностью формы, подачами и вибрациями в системе СПИД. Динамику головок УАК предложено характеризовать комплексными показателями: 1) критической амплитудой ускорения в единицах $\dot{g} = 9,81 \text{ м/сек}^2$; при которой происходит отрыв базовых и измерительных наконечников; 2) временем и амплитудой их отрыва; 3) скоростью свободного перемещения этих наконечников под действием упругих сил пружин, создающих измерительное усилие. Предложены формулы для подсчета указанных характеристик, которые дали хорошую сходимость с экспериментальными данными. Разработана автоматическая головка, позволяющая определять погрешность и время срабатывания, смещение настройки, погрешность настройки и т.д. при подаче на вход триггерно-релейного командного блока УАК комплексного сигнала, изменяющегося синусоидально и со скоростью съема металла.

4. Для оценки характеристик динамической точности автоматически настраивающихся устройств управляющего контроля были созданы следующие новые средства проверок: стенд для определения критических амплитуд в единицах $\dot{g} = 9,81 \text{ м/сек}$, а также времени и амплитуды отрыва измерительных и базовых наконечников и их скорости свободного перемещения; устройство для определения времени срабатывания УАК, а также времени запаздывания отвода шлифовальной бабки, её перебега и времени нахождения за уровнем настройки; клиновой стенд для определения переходной функции УАК и смещения уровня настройки в зависимости от длительности и частоты следования ступенчатых сигналов / 8 /.



В результате выполнения этого раздела работы была создана методика производственных испытаний УАК совместно со станком и руководящих материалов по проверке УАК с автоматической настройкой.

5. Теоретические исследования оптимальных критериев настройки позволили создать и исследовать новые автоматически настраиваемые устройства управляющего контроля с компенсационным непрерывным и дискретным измерением обработанных изделий на рабочей позиции в процессе их вращения, что позволило решить задачу компенсации основных динамических погрешностей системы СПИД-УАК.

6. Проверка РТМ в производственных условиях по методике испытаний автоматически настраиваемых УАК подтвердила их целесообразность. Результаты опытно-конструкторских работ по созданию автоматически настраиваемых УАК переданы ОКБ. Опыт работы на автомобильном заводе им.Лихачёва показал, что использование разработанных УАК позволяют повысить точность обработки на существующих круглошлифовальных станках в 2 ÷ 3 раза.

По основным положениям диссертации сделаны доклады и опубликованы следующие работы:

1. Автоматически настраиваемые устройства управляющего контроля. Всесоюзная научно-техническая конференция по технологическим методам повышения точности, надежности и долговечности в машиностроении, Одесса, 19.X.1966.
2. Пути повышения точности и надежности устройств для контроля размеров в процессе обработки. Межвузовская научная конференция по новым высокопроизводительным и точным производственным процессам в машиностроении и приборостроении, Москва, МВТУ им.Баумана, 13.IX.1967.
3. Анализ и разработка методов сглаживания переходных и случайных дискретных функций. XXV научно-техническая конференция. Минск, БПИ, 1969. Секция математики.
4. Исследование самонастраиваемых УАК. XXV научно-техническая конференция. Минск, БПИ, 1969.
5. Набережных А.И. Упрощенная статистическая обработка результатов исследования точности автоматических систем, журнал "Известия высших учебных заведений", Машиностроение, изд. МВТУ им.Баумана, № II, 1966.

6. Набережных А.И., Раввин А.Г., Точность круглошлифовальных станков с приборами активного контроля. Журнал "Станки и инструмент, № 9, 1968.
7. Набережных А.И., Воронцов Л.Н., Емкостной измерительный прибор линейных величин, авторское свидетельство СССР, № 189158, 1965.
8. Набережных А.И., Воронцов Л.Н. Стенд для определения динамических характеристик автоматизированных устройств для контроля линейных размеров деталей, авторское свидетельство СССР, № 1221320, 1966.
9. Набережных А.И., Воронцов Л.Н. Самонастраивающиеся устройства для активного контроля размеров деталей, авторское свидетельство СССР, № 236774, 1967.