

М474053

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

Капустин Дмитрий Николаевич

УДК - 621.941-52:621.81

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ
ПОДНАЛАДКОЙ ПО ТЕКУЩИМ РАЗМЕРАМ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ
СТАНКАХ С ЧПУ

Специальность 05.02.11 - Методы контроля в машиностроении

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

Москва, 1988 г.

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

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Л.Н.Воронцов

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.А.Боднер
кандидат технических наук
В.Д.Рыжова

Ведущее предприятие – ПО "Динамо"

Защита состоится "6" июня 1988 г. на заседании
специализированного Совета К 053.15.01 в Московском ордена
Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана
по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим
выс-

ке МВТУ им.

Н.!

8 г.

оп!

ясов

1
Под
Зак

100 экз.
Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986–1990 годы и на период до 2000 года указывается на необходимость дальнейшего повышения технического уровня выпускаемой продукции на основе комплексной автоматизации технологических процессов.

Комплексная автоматизация технологических процессов обработки резанием на базе станков с числовым программным управлением включает также и автоматизацию контроля, что во многом способствует обеспечению заданной точности обработки и ее стабильности при изготовлении деталей.

Опыт эксплуатации станков с ЧПУ показывает, что в настоящее время не полностью решена научно-техническая задача автоматизации подналадки, т.е. текущей корректировки уровней настройки станка. Выполнение подналадки вручную часто не обеспечивает выпуск годной продукции и ограничивает возможности использования станков с ЧПУ в безлюдном производстве.

Существующие методы автоматической подналадки формируют корректирующее воздействие только на основании последнего перед следующим циклом обработки отклонения показателя качества изготавливаемой детали, что не всегда позволяет обеспечить заданную точность обработки.

Резервы повышения точности обработки на станках с ЧПУ заключаются в создании метода активного контроля с автоматической подналадкой по текущим размерам обрабатываемой поверхности изготавливаемых деталей с учетом их взаимоотношений.

Цель работы. Целью работы является повышение точности деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ, используя активный контроль с автоматической подналадкой по текущим размерам деталей.

Методы исследований. При проведении исследований применены: теория динамических рядов; математические методы авторегрессии и экспоненциального сглаживания; теория вероятностей и математической статистики; методы корреляционного анализа.

Научная новизна диссертации:

I. Разработан метод активного контроля с автоматической подналадкой по текущим размерам деталей с использованием точностных моделей, построенных с помощью математических методов авторегрессии и экспоненциального сглаживания.

I

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1474053

Капустин Д.Н. Разработка м



2. Выявлены взаимосвязи между текущими отклонениями размеров деталей с помощью автокорреляционных функций динамических рядов показателей качества и на их основе получены точностные модели процесса изготовления деталей, позволяющие определять текущее значение показателя качества в зависимости от его предшествующих значений.

Практическая ценность работы заключается: в повышении точности деталей, изготавливаемых на токарных станках с ЧПУ; в разработке методики автоматической подналадки; устройства активного контроля; комплекса алгоритмов и программ для расчета величин подналадочных импульсов на ЭВМ.

Реализация работы в промышленности. Результаты выполненных исследований проверены в производственных условиях и использованы в промышленности. Изготовлен опытный образец устройства активного контроля. Все разработанные математические модели и алгоритмы доведены до программной реализации на ЭВМ и переданы для применения в производство. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследований составил 3,7 тыс. рублей на единицу оборудования в год.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены на научно-технической конференции "Разработка и внедрение ГПС в механообрабатывающее производство", г. Севастополь, 1987 г.; на научно-методических семинарах и заседаниях кафедры "Метрология и взаимозаменяемость" МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Публикации. По результатам исследований опубликованы две статьи.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений, изложена на 105 страницах машинописного текста и содержит 39 таблиц, 52 рисунка, список литературы на 10 страницах из 99 наименований и приложения на 17 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена цель, сформулированы основные научные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе содержится обзор литературных источников, анализ состояния вопроса, обоснование и постановка задач исследования.

Анализ основных работ по активному контролю и методам управления точностью обработки показал, что к настоящему времени в этой области накоплен большой объем теоретических и экспериментальных данных. Наибольший вклад в развитие теоретических основ автоматического контроля и в использовании устройств активного контроля для управления точностью изготовления деталей на станках с ЧПУ внесли В.А.Боднер, С.С.Волосов, Л.Н.Воронцов, В.В.Кондашевский, С.Ф.Корндорф, Б.С.Балашкин, Г.Г.Земсков, В.С.Корсаков, М.С.Навельсон, В.И.Талешевский, В.А.Чудов и другие.

В настоящее время для управления точностью обработки по величине подналадочного импульса существуют три основных метода:

1. Подналадка импульсами постоянной величины;
2. Подналадка импульсами переменной величины;
3. Подналадка импульсами пропорциональной величины.

При подналадке импульсами постоянной величины корректирующее воздействие является оптимальным для данной реализации, но при других реализациях может оказаться не оптимальным.

При подналадке импульсами переменной величины подналадочный импульс вводится соответственно принадлежности размера детали к определенной зоне возможных значений. Однако этот метод приводит к значительному увеличению поля рассеяния размеров деталей относительно номинального значения.

Наиболее широкое распространение получил метод подналадки импульсом пропорциональным отклонению размера детали от заданного. Величина подналадочного импульса определяется по формуле:

$$\hat{X}_i = -k \cdot X_{i-1},$$

где k — коэффициент коррекции;

X_{i-1} — величина отклонения размера от заданного;

$\hat{X}_i$ — величина подналадочного импульса.

Подналадка импульсами пропорциональной величины повышает точность обработки по сравнению с подналадкой импульсами постоянной и переменной величины. Недостатком этого метода явля-

ется то, что корректирующее воздействие формируется на основании последнего перед следующим циклом обработки отклонением размера. Информация о предыдущих размерах и величинах коррекции теряется, тем самым подналадочная система не обладает "памятью", что ограничивает возможности более полной компенсации погрешностей обработки.

Анализ использования устройств активного контроля на токарных станках с ЧПУ показал, что наибольшее распространение получили контактные щуповые средства, в связи с их относительной помехоустойчивостью и в большинстве случаев простоты изготовления по сравнению с бесконтактными методами: оптическими, пневматическими и токовихревыми. Причем большими возможностями обладают измерительные головки отклонения по сравнению с нулевыми головками. Однако существующие измерительные головки не могут осуществлять одновременный контроль осевых и диаметральных размеров.

Обзор работ по разработке и исследованию методов и устройств активного контроля показал, что рассмотренные методы хотя и обладают определенными достоинствами, но не позволяют достаточно оперативно управлять ходом процесса изготовления деталей обработкой резанием на основе полученной информации.

В связи с этим в работе поставлены следующие задачи:

1. Разработать точностные модели процесса изготовления деталей обработкой резанием.

2. Создать методику автоматической подналадки станков с ЧПУ по текущим значениям отклонений размеров изготавливаемых деталей.

3. Разработать устройство активного контроля, позволяющее одновременно измерять отклонения размеров изготавливаемых деталей.

4. Разработать методику оценки точности измерения устройством активного контроля.

5. Внедрить полученные результаты в производство и определить их технико-экономическую эффективность.

Вторая глава посвящена разработке точностных моделей процесса изготовления деталей обработкой резанием на основе математических методов экспоненциального сглаживания и авторегрессии.

Множество наблюдений, получаемых последовательно во времени и отличающихся существенностью порядка, в котором они получены, представляют собой динамический ряд. Формирование динамических рядов показателей качества изготавливаемых деталей обеспечивается последовательным их измерением. Показатели качества изготавливаемых деталей фиксируются через определенные промежутки времени, что дает возможность представить всю последовательность измерений как дискретный динамический ряд.

Знание существенности уровней динамического ряда позволяет выявить закономерности технологических процессов изготовления деталей: интенсивность смещения уровня настройки технологической системы, интенсивность смещения величины рассеивания показателей качества, интенсивность смещения величины авторегрессии.

Выявление закономерностей протекания процессов изготовления деталей позволяет судить о характере процессов в будущем, что создает предпосылки для управления точностью обработки во времени. На основе динамических рядов показателей качества формируются точностные модели, которые обладают большими информативными возможностями. Используя точностную модель генерируется метод подналадки станков с ЧПУ по текущим значениям показателей качества обрабатываемых поверхностей изготавливаемых деталей. Такой метод подналадки позволяет обеспечить заданное качество изготавливаемых деталей в условиях запаздывания операции контроля после обработки.

Представление результатов процесса изготовления деталей в виде ряда измерений показателя качества позволяет использовать теорию динамических рядов для разработки точностных моделей процесса изготовления деталей обработки резанием.

В зависимости от длины динамических рядов предложено две точностные модели: на основе математических методов экспоненциального сглаживания и авторегрессии.

Точностная модель на основе метода экспоненциального сглаживания строится при минимуме априорных знаний, при количестве деталей в партии от 10 до 70 штук и отражает только детерминированную часть отклонений показателя качества.

Экспоненциальное сглаживание динамического ряда отклонений показателей качества деталей осуществляется по формуле

$$S_t = \alpha \cdot X_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}, \quad (I)$$

где S_t - экспоненциальная средняя в момент времени t ; 5

S_{t-1} - экспоненциальная средняя в предшествующий момент времени;

X_t - значение уровня динамического ряда в момент времени t ;

α - коэффициент сглаживания.

Вес текущего значения динамического ряда характеризуется величиной коэффициента сглаживания α , а вес предыдущих уровней ряда убывает по геометрической прогрессии. Таким образом, более близкие значения динамического ряда несут в себе больше информации чем отдаленные.

Если последовательно использовать зависимость (1), то экспоненциальную среднюю S_t можно выразить через значения динамического ряда

$$S_t = \alpha \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (1-\alpha)^i \cdot X_{t-i} + (1-\alpha)^N \cdot S_0, \quad (2)$$

где: N - количество уровней динамического ряда;

S_0 - начальная система отсчета-является настроечным размером новой технологической наладки.

Исходя из формул (1) и (2) получаем уравнения для экспоненциальных средних при однократном сглаживании

$$S_{t_1}^{[1]} = \alpha_1 \cdot X_1 + (1-\alpha_1) \cdot S_0 ;$$

$$S_{t_2}^{[1]} = \alpha_1 \cdot X_2 + (1-\alpha_1) \cdot S_{t_1}^{[1]} ;$$

$$S_{t_N}^{[1]} = \alpha_1 \cdot X_N + (1-\alpha_1) \cdot S_{t_{N-1}}^{[1]} .$$

При k -ом сглаживании уравнения - преобразуются к следующему виду

$$S_{t_1}^{[k]} = \alpha_k \cdot S_{t_1}^{[k-1]} + (1-\alpha_k) \cdot S_0 ;$$

$$S_{t_2}^{[k]} = \alpha_k \cdot S_{t_2}^{[k-1]} + (1-\alpha_k) \cdot S_{t_1}^{[k]} ;$$

$$S_{t_N}^{[k]} = \alpha_k \cdot S_{t_N}^{[k-1]} + (1-\alpha_k) \cdot S_{t_{N-1}}^{[k]} .$$

Метод экспоненциального сглаживания обеспечивает получение оценки средней процесса S_t после каждой обработанной детали. Точностная модель, построенная на основе метода экспоненциального сглаживания способна реагировать на изменение

показателя качества каждой детали. Основным достоинством точностной модели является то, что ее функционирование возможно при минимуме уровней динамического ряда.

Решена задача выбора оптимального значения коэффициента сглаживания на примере динамического ряда отклонений размеров деталей. При различных значениях α величины экспоненциальных средних будут различны. При α , близкому к единице, производится учет в основном последних уровней динамического ряда. При α , близкому к нулю, относительно большее влияние оказывают предшествующие члены ряда. В качестве критерия выбора коэффициента сглаживания принимается минимум дисперсия отклонений функции экспоненциальных средних от линии регрессии. Проведен выбор коэффициентов для различных порядков сглаживания.

Дается оценка устойчивости точностной модели на основе метода экспоненциального сглаживания в зависимости от количества уровней динамического ряда отклонений показателей качества.

Анализируются значения коэффициентов сглаживания при изготовлении деталей из одного материала, но различных номинальных размеров.

Точностная модель, основанная на методе авторегрессии строится при достаточном количестве уровней динамического ряда показателей качества изготавливаемых деталей. Из теории случайных процессов известно, что достоверными выборочными оценками автокорреляционной функции являются оценки, полученные при числе уровней динамического ряда большим семидесяти. Достаточная достоверность значений автокорреляционных функций важна в связи с тем, что коэффициенты точностной модели определяются на основе именно этих значений и точность получения ожидаемых показателей качества определяются этой же достоверностью.

Модель технологического процесса изготовления деталей, выражающее значение показателя качества X_t в виде линейной комбинации конечного числа предшествующих значений этого показателя и случайной составляющей представляет собой модель авторегрессии:

$$X_t - A_1 X_{t-1} - A_2 X_{t-2} - \dots - A_N X_{t-N} = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_N \varepsilon_{t-N},$$

где X_t - показатель качества;
 $A_1 \dots A_M$ - коэффициенты уравнения авторегрессии;
 ε_t - ошибки оценки показателя качества;
 $\theta_1 \dots \theta_N$ - коэффициенты звена поправок отклонений или коэффициенты процесса скользящего среднего.

Для структурного представления процесса вводятся операторы:
 $B X_t = X_{t-1}$ - оператор сдвига назад;
 $\nabla^d X_t = (1-B)^d \cdot X_t$ - оператор нестационарности процесса.
 Здесь d - показатель нестационарности.

Принимаем, что все рассматриваемые ряды характеризуются линейной нестационарностью ($d = 1$). Структурное содержание уравнения авторегрессии имеет вид

$$(1-B) \cdot (1-\varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p), \quad (3)$$

где сомножитель $(1-B)$ - отражает линейную нестационарность процесса, а $(1-\varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p)$ - отражает емкость уравнения авторегрессии; p - порядок уравнения авторегрессии.

Коэффициенты уравнения авторегрессии φ линейно зависят от автокорреляционной функции $\rho_x(l)$, ее выборочных характеристик $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_l$. Приведен метод расчета коэффициентов авторегрессии, основанный на решении систем линейных уравнений Мла-Уокера.

После преобразования выражения (3) уравнение авторегрессии имеет следующий вид

$$X_t = (1 + \varphi_{p1}) \cdot X_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} (\varphi_{p,j+1} - \varphi_{p,j}) \cdot X_{t-j-1} - \varphi_{pp} \cdot X_{t-p}.$$

На примере динамического ряда отклонений диаметральных размеров ($\varnothing 15_{-0,1}^{+0,1}$ мм) деталей, изготовленных из стали У8 на токарном станке с ЧПУ модели ИБ61ПМЗ, построены уравнения авторегрессии для различных значений порядка авторегрессии p , описывающие точностную модель.

При $p = 1$

$$X_t = 1,684 \cdot X_{t-1} - 0,684 \cdot X_{t-2};$$

При $p = 2$

$$X_t = 1,608 \cdot X_{t-1} - 0,498 \cdot X_{t-2} - 0,110 \cdot X_{t-3};$$

При $p = 3$

$$X_t = 1,589 \cdot X_{t-1} - 0,539 \cdot X_{t-2} + 0,168 \cdot X_{t-3} - 0,173 \cdot X_{t-4}.$$

Сформированные уравнения авторегрессии позволяют найти значение исследуемого показателя качества в момент времени t в зависимости от его текущих значений в предыдущие моменты времени.

Чем больше величина порядка авторегрессии p , тем информативней точностная модель. Однако при увеличении p усложняется модель и ограничивается возможность быстрого реагирования.

Проведена идентификация точностной модели на ЭВМ, которая позволила найти оптимальное значение порядка авторегрессии.

В результате проведения идентификации определены автокорреляционные функции ошибок оценки показателя качества. На основании этих значений рассчитаны коэффициенты скользящего среднего с целью включения в точностную модель ошибки ξ_t , т.е. для достижения большего соответствия точностной модели технологическому процессу изготовления деталей.

В отличие от коэффициентов авторегрессии, коэффициенты скользящего среднего находятся из нелинейных уравнений. Предложено определять коэффициенты θ_i итерационным методом линейной сходимости.

Построены уравнения авторегрессии с учетом процесса скользящего среднего для различных порядков авторегрессии и порядков скользящего среднего.

Проведена идентификация точностной модели с учетом процесса скользящего среднего на ЭВМ. Однако для рассматриваемых динамических рядов отклонений размеров деталей, вследствие исходной нестационарности, использование в уравнении авторегрессии ошибки ξ_t не приводит к положительным результатам.

Рассмотрена устойчивость точностной модели на основе метода авторегрессии. Анализируются значения коэффициентов авторегрессии при изготовлении деталей из одного материала, но различных номинальных размеров. Приводятся значения автокорреляционной функции при замене значений коэффициентов авторегрессии.

Третья глава посвящена разработке методики автоматической подналадки по текущим размерам обрабатываемой поверхности детали на станках с ЧПУ.

При подналадке станков с ЧПУ на основе точностной модели, построенной по методу экспоненциального сглаживания, корректирующее воздействие определяется при получении текущих значений отклонений размеров обрабатываемых поверхностей X_t и нахождения после каждого цикла обработки экспоненциальной средней $S_t^{(K)}$.

Процесс подналадки осуществляется по следующим этапам.

1. Обрабатывается без подналадки первая деталь.

2. Определяется ее фактическое отклонение размера от номинального X_t .

3. Определяется величина экспоненциальной средней первого порядка сглаживания $S_t^{(1)}$

$$S_t^{(1)} = \alpha_1 \cdot X_t + (1 - \alpha_1) \cdot S_0. \quad (4)$$

Если принято, что $K > 1$, то далее определяются экспоненциальные средние до K -го порядка сглаживания

$$S_t^{(2)} = \alpha_2 \cdot S_t^{(1)} + (1 - \alpha_2) \cdot S_0;$$

$$S_t^{(K)} = \alpha_K \cdot S_t^{(K-1)} + (1 - \alpha_K) \cdot S_0.$$

Если $S_t^{(K)} \geq 2\gamma$, то осуществляется корректировка на величину $\hat{S}_t^{(K)} = S_t^{(K)}$ и процедура начинается сначала с учетом $S_t^{(1)}$, $S_t^{(2)}$, ..., $S_t^{(K)}$. Здесь γ — дискрета токарного станка; $S_t^{(K)}$ — величина подналадочного импульса.

Если $S_t^{(K)} < 2\gamma$, то обрабатывается без подналадки вторая деталь.

4. Определяются экспоненциальные средние $S_{t+1}^{(K)}$

$$S_{t+1}^{(1)} = \alpha_1 \cdot X_{t+1} + (1 - \alpha_1) \cdot S_t^{(1)};$$

$$S_{t+1}^{(2)} = \alpha_2 \cdot S_{t+1}^{(1)} + (1 - \alpha_2) \cdot S_t^{(2)};$$

$$S_{t+1}^{(K)} = \alpha_K \cdot S_{t+1}^{(K-1)} + (1 - \alpha_K) \cdot S_t^{(K)}.$$

(5)

Если $S_{t+1}^{(K)} \geq 2\gamma$, то осуществляется корректировка положения исполнительных органов станка на величину $\hat{S}_{t+1}^{(K)} = S_{t+1}^{(K)}$ и процедура начинается сначала с учетом $S_{t+1}^{(1)}$, $S_{t+1}^{(2)}$, ..., $S_{t+1}^{(K)}$. Если $S_{t+1}^{(K)} < 2\gamma$, то обрабатывается без подналадки третья деталь и вычисляются значения $S_{t+2}^{(1)}$, $S_{t+2}^{(2)}$, ..., $S_{t+2}^{(K)}$ пока величина $S_{t+2}^{(K)}$ не превысит значения 2γ .

Таким образом, при подналадке учитываются все предыдущие отклонения размеров в соответствии со своим весом, убывающим

во времени. Причем, в каждый момент времени известна информация о центре рассеяния отклонений размеров деталей.

Проведены экспериментальные исследования разработанной методики подналадки по методу экспоненциального сглаживания, которые подтвердили, что точность подналадки токарных станков с ЧПУ соответствует поставленным требованиям. Устранена систематическая составляющая погрешности обработки, при сохранении точности рассматриваемых динамических рядов.

Процесс подналадки станка с ЧПУ на основе точностной модели, построенной по методу авторегрессии, осуществляется по следующим этапам.

1. Обрабатываются без подналадки $p+1$ деталей.
2. Определяются фактические отклонения размеров $X_1, X_2, \dots, X_{p+1}$, которые формируют следующее уравнение

$$\hat{X}_{p+2} = (1 + \varphi_{p1}) \cdot X_{p+1} + \sum_{j=1}^{p-1} (\varphi_{p,j+1} - \varphi_{p,j}) \cdot X_{j+p-1} - \varphi_{pp} \cdot X_1.$$

3. Определяется величина ожидаемого отклонения размера в следующем цикле обработки $\hat{X}_{p+2}$. Если $\hat{X}_{p+2} \geq 2\sigma$, то осуществляется подналадка на величину $\hat{X}_{p+2}$ в направлении к линии подналадки. Если $\hat{X}_{p+2} < 2\sigma$, то обрабатывается деталь без подналадки и определяется размер X_{p+2} .

4. Определяется величина $\hat{X}_{p+3}$.

$$\hat{X}_{p+3} = (1 + \varphi_{p1}) \cdot X_{p+2} + \sum_{j=1}^{p-1} (\varphi_{p,j+1} - \varphi_{p,j}) \cdot X_{j+p-1} - \varphi_{pp} \cdot X_2.$$

Если $\hat{X}_{p+3} < 2\sigma$, то вычисляется значение $\hat{X}_{p+4}$ и т.д.

5. Осуществляется подналадка на величину $\hat{X}_{p+2}$ и определяется значение ошибки ε_{p+2} , равная фактическому отклонению размеру детали после подналадки

$$\varepsilon_{p+2} = \hat{X}_{p+2}.$$

Если подналадка в данном цикле не осуществляется, тогда определяется как

$$\varepsilon_{p+2} = \hat{X}_{p+2} - \bar{X}_{p+2}.$$

Величина ожидаемого отклонения размера $\hat{X}_{p+3}$ принимает следующее значение

$$\hat{X}_{p+3} = (1 + \varphi_{p1}) \cdot X_{p+2} + \sum_{j=1}^{p-1} (\varphi_{p,j+1} - \varphi_{p,j}) \cdot X_{j+p-1} - \varphi_{pp} \cdot X_2 - \varepsilon_{p+2} \cdot \theta_{11}.$$

6. Осуществляется подналадка на величину $\hat{X}_{p+3}$ и определяется величина ошибки

$$\varepsilon_{p+3} = \hat{X}_{p+3}$$

Тогда

$$\hat{X}_{p+4} = (1 + \varphi_p) \cdot \hat{X}_{p+3} + \sum_{j=1}^{p-1} (\varphi_{p,j+1} - \varphi_{p,j}) \cdot X_{j,p} - \varphi_{pp} X_p - \varepsilon_{p+3} \cdot \theta_{21} - \varepsilon_{p+2} \cdot \theta_{22}.$$

В общем случае предполагаемый размер $\hat{X}_{p+1}$ будет следующим

$$\hat{X}_{p+1} = (1 + \varphi_p) \cdot \hat{X}_{p+1} + \sum_{j=1}^{p-1} (\varphi_{p,j+1} - \varphi_{p,j}) X_{j,p-i-3} - \varphi_{pp} X_{p-i-2} - \sum_{j=1}^q \varepsilon_{p+i-j} \cdot \theta_{qj}.$$

При подналадке учитывается p — предыдущих значений отклонений размеров и q — предыдущих отклонений оценок. Большие веса имеют значения отклонений, которые находятся ближе к текущему значению.

Предлагаемая методика подналадки опирается на корректировку положения режущего инструмента по ожидаемому размеру обработки, рассчитанному по уравнению авторегрессии. В результате подналадки компенсируется систематическая составляющая обработки и часть случайной составляющей.

Проведены экспериментальные исследования разработанной методики подналадки по методу авторегрессии, которые подтвердили возможность компенсации части случайной составляющей погрешности обработки.

Четвертая глава посвящена разработке устройства активного контроля и способа ввода подналадочного импульса.

Для реализации разработанной методики автоматической подналадки предложено устройство активного контроля. Устройство обеспечивает:

1. Получение достоверной информации о действительном отклонении размера изготавливаемой детали.
2. Широкий диапазон измерения.
3. Измерение отклонений размеров деталей по двум координатным осям.
4. Требуемую точность контроля отклонений размеров.
5. Стыковку с системой ЧПУ токарного станка.

Разработанное устройство активного контроля позволяет одновременно измерять отклонения диаметральных и осевых размеров

деталей с помощью одного измерительного наконечника. Устройство содержит корпус, в котором расположены три измерительных преобразователя. В узле подвески установлен трехплечий рычаг с тремя сферическими наконечниками. Один из которых контактирует с измеряемой деталью, а два других с измерительными преобразователями.

Устройство неподвижно закрепляется на суппорте станка. По управляющей программе станка с ЧПУ устройство выходит в заданную координату для измерения отклонений размеров детали. Причем два измерительных преобразователя регистрируют величину отклонения диаметрального размера, а третий измерительный преобразователь — осевого. Введение дополнительного измерительного преобразователя, при измерении отклонений диаметральных размеров, обусловлено компенсацией погрешности, вызванной перемещением измерительного рычага по дуге окружности.

Размерная настройка устройства измерения проводится по контрольной оправке, причем в управляющей программе для станка с ЧПУ задаются те же координаты точек измерения, что и при обработке режущим инструментом.

Проведен расчет погрешностей измерения, вызванный неточностью изготовления устройства измерения с целью определения оптимальных величин зазоров в сопряжениях и допусков на изготовление отдельных деталей устройства. Отмечается целесообразность введения дополнительного измерительного преобразователя, так как погрешность, вызванная перемещением измерительного рычага, по дуге окружности на порядок превышает все остальные погрешности.

Проведена оценка суммарной погрешности измерения устройством активного контроля. Экспериментальным путем выявлены доминирующие погрешности измерения: погрешность выхода рабочего органа станка в заданную координату и погрешность настройки устройства измерения.

Проведенная экспериментальная оценка суммарной погрешности измерения позволила выбрать рациональные области применения устройства активного контроля. Определены номера квалификационных ГОСТ, по которым изготавливаются детали, ограничивающие область возможного использования устройства.

Разработан способ ввода подналадочного импульса. Устройство измерения, выходя в расчетную точку по управляющей прог-13

рамме, определяет отклонение размера детали, полученное после обработки. Сигнал с измерительных преобразователей поступает на аналого-цифровой преобразователь, где постоянное напряжение преобразуется в цифровой двоичный код, далее через схему параллельного интерфейса сигнал вводится в канал микро-ЭВМ системы ЧПУ. В управляющей программе предусмотрена дополнительная функция, по которой производится опрос канала микро-ЭВМ. Далее по разработанным алгоритмам вызывается подпрограмма расчета величины подналадочного импульса, где вычисляется значение величины коррекции. Значение через канал микро-ЭВМ поступает на блок связи со станком и далее на исполнительные органы, которые отрабатывают величину подналадочного импульса перед изготовлением следующей детали.

В пятой главе приведены результаты реализации исследований в промышленности и рассчитаны показатели технико-экономической эффективности. Для оценки точности изготовления деталей при подналадке по методам экспоненциального сглаживания и авторегрессии проводилась обработка партии деталей типа "вал" на токарном станке с ЧПУ. Подналадка по разработанным методам сравнивалась с подналадкой по методу пропорционального импульса. Результаты внедрения подтвердили, что при подналадке по методам экспоненциального сглаживания и авторегрессии повысилась точность изготавливаемых деталей по сравнению с известным методом подналадки.

Показано, что экономический эффект достигается за счет сокращения времени контроля изделий при обработке, повышения точности обработки, увеличения коэффициента многостаночного обслуживания, уменьшения брака по вине оператора.

Приведен расчет ожидаемого годового экономического эффекта.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

I. Одним из путей повышения точности изготовления деталей на станках с ЧПУ является разработка и использование метода активного контроля с автоматической подналадкой по текущим размерам обрабатываемой поверхности.

2. Точностную оценку процесса изготовления деталей обработкой резанием целесообразно производить на основе автокорреляционных функций динамических рядов показателей качества. Для построения точностных моделей на основе динамических рядов показателей качества следует использовать математические методы авторегрессии и экспоненциального сглаживания. Метод экспоненциального сглаживания рекомендуется применять для коротких динамических рядов (количество деталей в партии $10 \leq N < 70$), а метод авторегрессии для длинных рядов (количество деталей в партии $N \geq 70$).

3. Разработана методика автоматической подналадки станка с ЧПУ на основе точностных моделей: а) по методу экспоненциального сглаживания, позволяющая устранить систематическую составляющую погрешности обработки, при сохранении точности исходного динамического ряда; б) по методу авторегрессии, позволяющая не только устранить систематическую составляющую погрешности обработки, но и сократить часть случайной составляющей на 12...40% по сравнению с исходным динамическим рядом. Предложенную методику автоматической подналадки рекомендуется использовать для условий серийного производства при изготовлении деталей на станках с ЧПУ.

4. Для практической реализации предложенной методики подналадки на основе построенных точностных моделей рекомендуется устройство активного контроля. Устройство измеряет отклонения размеров деталей одновременно по двум координатным осям. Проведенная оценка суммарной погрешности измерения позволяет выбрать рациональную область применения устройства активного контроля. Результаты экспериментального исследования в производственных условиях показали, что возможно применять данное устройство при контроле деталей, изготавливаемых по 7...9 квалитетам ИСО (в зависимости от интервала номинальных размеров).

5. Реализация выполненных исследований в промышленности и проведенный сравнительный анализ разработанного метода активного контроля с автоматической подналадкой по текущим размерам деталей и известного метода подналадки пропорциональным импульсам подтвердили эффективность использования предложенного метода. Степень увеличения точности изготовления деталей зависит от дискретности перемещения суппорта токарного станка с ЧПУ,

характеристик изготавливаемых деталей, режимов резания и других факторов. Например, при изготовлении партии деталей диаметром 15 мм из стали ХВГ на станке модели ПИ61ПМФЗ увеличение точности составило: при подналадке по методу экспоненциального сглаживания - 23% и по методу авторегрессии - 39%.

6. Результаты выполненных разработок используются в промышленности. Ожидаемый экономический эффект составил 3700 руб. на единицу оборудования в год.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Капустин Д.Н. Повышение точности обработки на станках с ЧПУ методом подналадки // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1987. - №9. - С. 131-134.

2. Капустин Д.Н. Измерение отклонений размеров деталей по двум прямоугольным осям координат на токарных станках с ЧПУ // Автоматизация производственных процессов на базе гибких производственных систем и роботизированных комплексов. - Краматорск: НПО "НИИПТмаш", 1987. - С. 37-42.

6/10-
(1)

