

М421593

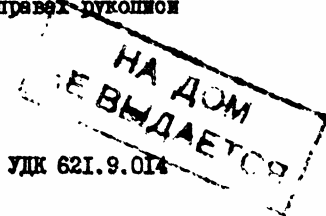
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

- . -

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ОКС Сергей Валентинович



УДК 621.9.014

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ НА
ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ

Специальность 05.02.08 - Технология
машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1984

Работа выполнена на Краснодарском ордена Трудового
Красного Знамени станкостроительном заводе имени Седина.

Научные руководители – доктор технических наук,
профессор [Корсаков В.С.]
кандидат технических наук,
доцент Межеряков Р.К.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Колесов И.М.
кандидат технических наук,
доцент Горбунов В.В.

Ведущее предприятие – Научно-производственное
объединение "Оргстанкинпром"

Защита диссертации состоится "___" _____ 1985 г.
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Москв
оком высшего технического училище им. Н.Э. Баумана по адресу:
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

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

Ваш отзыв на авторефер
печатью, просим направлять !

Автореферат разослан "

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТ
К.Т.Н., ДОЦЕНТ

Зак. 1733 Л-83599 от 14.12.

Типография 1

М421593

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Токарно-карусельные станки составляют не менее 20-25 % общего парка оборудования предприятий тяжелого машиностроения. Значительная часть из них приходится на токарно-карусельные станки с ЧПУ. В соответствии с материалами XXVI съезда КПСС "Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" намечено дальнейшее увеличение выпуска станков с ЧПУ, в том числе токарно-карусельных. В целях повышения точности и производительности механической обработки предусмотрено повышение производительности металлорежущих станков в 1,3...1,6 раза и точности на 20-30 %. Отмечено, что, эксплуатируя новое высокопроизводительное оборудование: необходимо наиболее полно использовать его технологические возможности. Между тем, анализ производственных данных показывает, что несмотря на высокие точностные характеристики токарно-карусельных станков с ЧПУ, точность обработки поверхности диаметром менее 1000 мм без предварительной подналадки лежит в пределах 10-13 квалитетов. Это не удовлетворяет требованиям по точности, предъявляемым к 40 % деталей, подлежащих токарно-карусельной обработке. Достижение требуемой точности сопряжено со значительными потерями производительности и осуществляется весьма трудоемкой, требующей от станочника высокой квалификации подналадкой.

Таким образом, повышение производительности обработки на токарно-карусельных станках с обеспечением заданной точности поверхности обрабатываемых деталей, является актуальной задачей.

Цель работы. Повышение производительности обработки на токарно-карусельных станках с ЧПУ при достижении точности обрабатываемых поверхностей деталей по 7,8 квалитетам.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, аналитической геометрии, теории вероятности, теории вычисления функций, математической логики, общетехнических дисциплин. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораториях и цехах Краснодарского станкостроительного завода им.Седина. При обработке экспериментальных данных использован метод планирования экстремальных экспериментов.

Научная новизна. Выявлены закономерности образования погрешностей обработки на токарно-карусельных станках с ЧПУ. Предложен новый метод снижения погрешностей обработки, обусловленных упру-

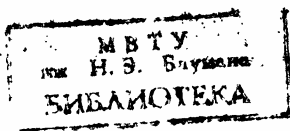
I

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1421593

Окс. С. В. Разработка и исслед



гими деформациями технологической системы и тепловыми деформациями станка, позволяющий уменьшать как систематические так и случайные составляющие погрешностей. Метод основан на использовании САУ, выполненной на базе микропроцессорной системы. Предложенный метод автоматизации размерной настройки и поднастройки станка путем расширения технологических возможностей системы ЧПУ. Расширение технологических возможностей системы ЧПУ достигается введением подпрограммы размерной настройки и поднастройки в ПЗУ системы ЧПУ.

Практическая ценность. Разработана инженерная методика расчета погрешностей обработки на токарно-карусельных станках с ЧПУ. Предложены рекомендации по разработке математического обеспечения САУ в режимах компенсации упругих и тепловых деформаций технологической системы. Предложена методика разработки подпрограммы размерной настройки и поднастройки станка. Разработаны рекомендации по совместному использованию САУ и САН.

Реализация работы. Результаты исследований прошли промышленную проверку на Краснодарском станкостроительном заводе им. Седина. Фактический годовой экономический эффект, подтвержденный расчетами и актом внедрения результатов исследований, составил 1048,18 руб. на один токарно-карусельный станок с ЧПУ типа 1516Ф3.

Апробация работы. Материалы исследований и диссертация в целом доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры технологии механосборочного производства МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1981-1984 годах, республиканском совещании "Механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ в машиностроении" (Ижевск, 1981г), второй всесоюзной научно-технической конференции "Проблемные вопросы автоматизации производства" (Краснодар, 1981 г.), научно-техническом семинаре "Комплексная автоматизация основного и вспомогательного производства" (Москва, 1981 г.), областном семинаре "Повышение эксплуатационной надежности и эффективности использования станков с ЧПУ" (Пенза, 1982 г.), научно-технической конференции "Состояние и перспективы применения вычислительной техники на машиностроительных предприятиях Узбекистана" (Ташкент, 1982 г.), всесоюзном научно-техническом семинаре "Опыт разработки и внедрения автоматических манипуляторов и технологических комплексов с их использованием" (Москва, 1982 г.).

Публикации. Основной материал диссертации изложен в 6 пе-

чатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 4 таблицы, 58 рисунков и список литературы из 97 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ первичных погрешностей обработки на токарно-карусельных станках с ЧПУ. Выделены доминирующие погрешности, которыми являются погрешности от упругих и тепловых деформаций технологической системы, размерной настройки станка и размерного износа режущего инструмента. Дается анализ основных направлений снижения этих погрешностей. Методологические положения этих направлений разработаны в трудах советских ученых Балакшина Б.С., Базрова Б.М., Дальского А.М., Колесова И.М., Корсакова В.С., Митрофанова В.Г., Рятмирова В.А., Соломенцева Ю.Н., Тимирязева В.А. и др. Выявлены достоинства и недостатки каждого из направлений. Особое внимание уделяется методам снижения погрешностей, обусловленных упругими деформациями технологической системы. Отмечено, что существующие методы снижения погрешностей от упругих деформаций технологической системы предусматривают снижение либо систематических составляющих погрешностей обработки (предскажение траектории перемещения инструмента), либо случайных составляющих (использование САУ). На точность токарно-карусельной обработки значительное влияние оказывают как систематические, так и случайные составляющие погрешностей. Это затрудняет использование существующих средств снижения погрешностей от упругих деформаций технологической системы на токарно-карусельных станках с ЧПУ. Сделан вывод о том, что для эффективного снижения этого вида погрешностей необходимо использовать САУ на базе микропроцессорной системы.

Проведен анализ существующих методов автоматизации размерной настройки станка. Показано, что существующие методы размерной настройки не позволяют в достаточно полной мере реализовать возможности системы ЧПУ, имеют низкую надежность, не позволяют вести настройку резцов различной конфигурации. Указанных недостатков можно избежать при использовании САН, принцип действия которой основан на введении подпрограммы размерной настройки в ПЗУ системы ЧПУ.

Проведен анализ методов снижения погрешностей от тепловых деформаций технологической системы. Выяснено, что методы сниже-

ния погрешностей, обусловленных тепловыми деформациями станка в применении к токарно-карусельной обработке, требуют развития. Сделан вывод о целесообразности использования САУ на базе микропроцессорной системы для снижения как погрешностей от упругих деформаций технологической системы, так и погрешностей от тепловых деформаций станка.

Во второй главе проведено исследование доминирующих составляющих суммарной погрешности обработки. Погрешность, обусловленная упругими деформациями технологической системы, рассматривается как вектор с координатами ΔX , ΔY , ΔZ . Координата ΔX определяется по формуле:

$$\Delta X = \pm \left[\sqrt{\Delta_{xw}^2 + \Delta_{yw}^2} \cdot \sin(\arctg \frac{\Delta_{yw}}{\Delta_{xw}} + \omega) + \sqrt{\Delta_{xc}^2 + \Delta_{yc}^2} \cdot \cos(\arctg \frac{\Delta_{yc}}{\Delta_{xc}} - \omega) \right] \cdot \sin \omega,$$

где Δ_{xw} , Δ_{yw} , Δ_{xc} , Δ_{yc} - смещение шпиндельного узла и суппорта по осям X и Y ; ω - угол между вертикалью и касательной к профилю детали в точке контакта обрабатываемой поверхности с вершиной режущего инструмента. Координаты ΔY и ΔZ рассчитываются аналогично. Элементарные перемещения шпиндельного узла и суппорта определяются как функции следующих переменных:

$$\Delta_{ij} = f(P_i, l_j, Y_{ij}),$$

где $i \in \{x, y, z\}$; $j \in \{ш, с\}$; P_i - составляющая силы резания в i -м направлении; Y_{ij} - жесткость j -го узла в i -м направлении; l_j - высота заготовки.

С целью определения имперических величин, необходимых для расчета Δ_{ij} , было проведено экспериментальное исследование, в результате которого получены зависимости податливости технологической системы от положения рабочих органов станка. Податливость технологической системы в радиальном направлении в наибольшей степени влияет на точность токарно-карусельной обработки. Поэтому для повышения точности расчетов податливость технологической системы в радиальном направлении определялась для различных вылетов ползуна и разных диапазонов действия P_y . На основе проведенных исследований получены зависимости погрешности радиальных размеров от конфигурации деталей.

При исследовании погрешностей обработки, обусловленных размерной настройкой станка, использовались совместно два метода: метод решения размерных цепей и вероятностный метод. Размерная настройка с использованием прибора настройки инструмента вне станка рассматривается как размерная настройка с по-

мощью эталона. Тогда, погрешность эталона $\Delta_{\text{эт}}$ и погрешность установки инструмента $\Delta_{\text{уст}}$ определяется из следующих уравнений:

$$\Delta_{\text{эт}} = t \sqrt{\lambda_{\text{нп}} \cdot \Delta_{\text{нп}}^2 + \lambda_{\text{нн}} \cdot \Delta_{\text{нн}}^2};$$

$$\Delta_{\text{уст}} = t \sqrt{\lambda_{\text{с}} \cdot \Delta_{\text{с}}^2 + \lambda_{\text{р}} \cdot \Delta_{\text{р}}^2 + \lambda_{\text{л}} \cdot \Delta_{\text{л}}^2},$$

где t - коэффициент процента риска получения брака; $\Delta_{\text{нп}}$, $\Delta_{\text{нн}}$, $\Delta_{\text{с}}$, $\Delta_{\text{р}}$, $\Delta_{\text{л}}$ - соответственно погрешности настройки прибора, настройки инструмента, расстояния по горизонтали от оси вращения планшайбы до вершины инструмента при выходе суппорта в "0" станка, установки инструмента в револьверной головке, поворота револьверной головки; $\lambda_{\text{нп}}$, $\lambda_{\text{нн}}$, $\lambda_{\text{с}}$, $\lambda_{\text{р}}$, $\lambda_{\text{л}}$ - коэффициенты, зависящие от формы кривых распределения $\Delta_{\text{нп}}$, $\Delta_{\text{нн}}$, ..., $\Delta_{\text{л}}$. Аналогично рассматриваемые погрешности $\Delta_{\text{нп}}$, $\Delta_{\text{нн}}$, ..., $\Delta_{\text{л}}$ выражаются через первичные погрешности настройки: погрешности установки резцедержателя на приборе, погрешности выхода рабочего органа в "0" станка и т.д. Проведенные экспериментальные исследования позволили определить величину этих первичных погрешностей настройки и звено размерной цепи, в которую целесообразна встройка измерительного элемента.

Координаты вектора погрешностей, обусловленных тепловыми деформациями станка, определяются аналогично координатам вектора погрешностей от упругих деформаций технологической системы. Экспериментальные исследования позволили выявить факторы, влияющие на тепловые деформации станка, и получить следующую зависимость для расчета тепловых деформаций станка:

$$\Delta T = 3.5857 \cdot 10^{-3} \cdot n^{0.5287} \cdot (p+1)^{0.0944},$$

где ΔT - тепловые деформации станка при постоянно-длительном режиме работы (мм); n - частота вращения планшайбы (об/мин); p - вес заготовки (Н). Найдены константы, необходимые для расчета тепловых деформаций станка при повторно-переменном режиме работы.

В результате аналитического и экспериментального исследования доминирующих погрешностей получен баланс суммарной погрешности обработки на токарно-карусельных станках с ЧПУ. Ошибка в определении данных погрешностей с помощью разработанных математических моделей не превышает 8 %.

В третьей главе ведется разработка и исследование САУ на базе микропроцессорной системы. Принцип действия САУ основан на использовании стандартного программируемого контроллера "Электроника К1-20". В контроллер вводится текущая информация, необхо-

димая для расчета упругих и тепловых деформаций технологической системы. На основе данной информации контроллер производит расчет упругих и тепловых деформаций и формирует управляющие сигналы, которые вызывают изменение числа импульсов, выдаваемых вычислителем СЧПУ на следующий привод СЧПУ. Это приводит к искажению, заданной управляющей программой, траектории перемещения инструмента на величину рассчитанных деформаций технологической системы.

Блок-схема САУ представлена на рис. 1. Величина и направление радиальной составляющей силы резания P_y измеряются с помощью динамометрического узла, состоящего из тензометрического датчика D и преобразователя. Соответствующий P_y аналоговый сигнал (напряжение) подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), преобразующий аналоговый сигнал в двоичный код.

Информация о вылете ползуна l , так же необходимая для определения упругих деформаций технологической системы, подается в контроллер с реверсивного счетчика (Р.С.). Реверсивный счетчик считает число импульсов, вырабатываемых вычислителем СЧПУ при перемещении суппорта по оси Z . Счет Р.С. начинается при выходе суппорта из "0" станка по оси Z . Выдача вычислителем импульсов по кабелю, соответствующему перемещению суппорта к торцу планшайбы, вызывает увеличение содержимого Р.С. по кабелю, соответствующему перемещению суппорта в "0" станка по оси Z - уменьшение содержимого Р.С. Счетчик Р.С. выдает в контроллер текущее значение вылета ползуна l в двоичном коде, причем единица младшего разряда, выдаваемого Р.С., соответствует 10 мм, т.е. на 10000 импульсов, поступающих с вычислителя на Р.С. в контроллер, выдается 1.

Для формирования САУ управляющих сигналов, необходим ввод в контроллер данных о том, по какому из двух кабелей вычислитель СЧПУ направляет импульсы на следующий привод по оси X (направление перемещения суппорта). Это достигается с помощью схемы определения наличия импульсов (Н.И.). Схема Н.И. состоит из двух идентичных каналов. Каждый канал выдает в контроллер число 1, если по соответствующему кабелю идут импульсы и число 0, если нет.

На основе информации о величине и направлении P_y , вылете ползуна l , направлении перемещений суппорта, контроллер про-

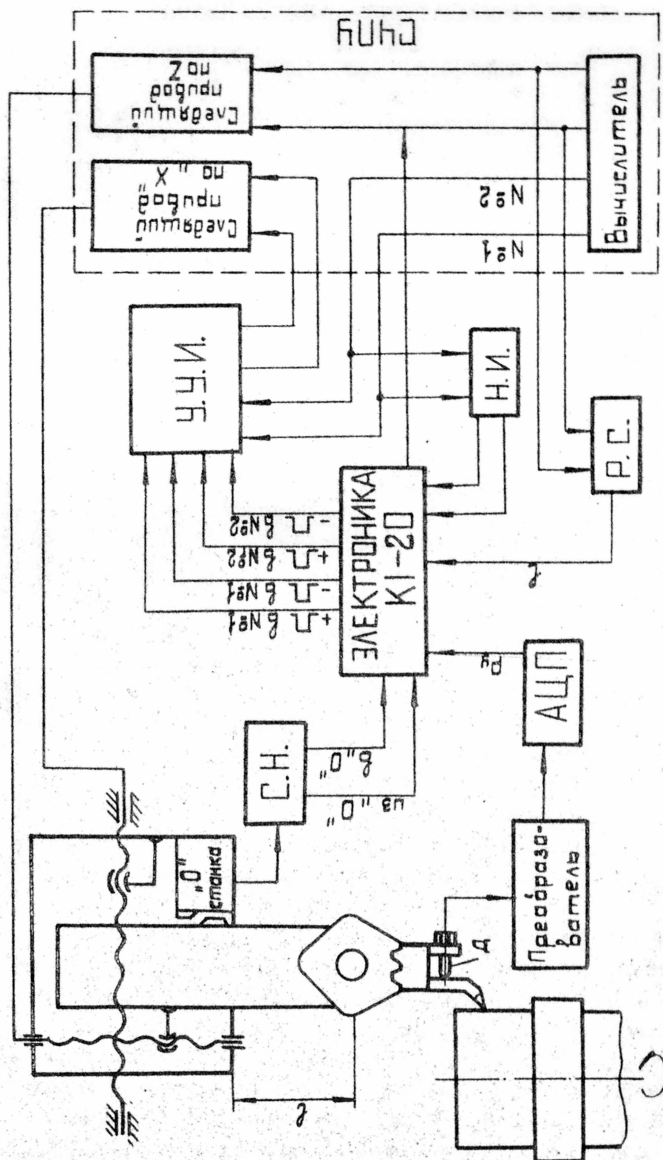


Рис. 1. Блок-схема САУ

изводит расчет величины упругих деформаций технологической системы и выдает управляющий сигнал на схему увеличения (уменьшения) числа импульсов (У.У.И.). Согласно этому управляющему сигналу, У.У.И. либо формирует импульс (высота 5 в, длительность 5 мкс), который поступает на следящий привод по оси X , либо забирает один из импульсов, направляемых вычислителем СЧПУ на следящий привод СЧПУ по оси X . Схема У.У.И. состоит из двух идентичных каналов.

Сдвиг "0" станка по оси Z с целью компенсации тепловых деформаций станка осуществляется при выходе суппорта в "0" станка по оси Z . Сигнал с микропереключателя выхода суппорта в "0" станка поступает на схему формирования сигнала при выходе суппорта в "0" станка и из "0" станка (схема С.Н.). Схема С.Н. выдает в контроллер сигнал, по которому контроллер направляет на следящий привод СЧПУ по оси Z серию импульсов с частотой 1 кГц идентичных импульсам формируемым вычислителем СЧПУ. Каждый импульс смещает суппорт на 0,001 мм. Количество импульсов ΔC численно равно тепловым деформациям станка, выраженным в мкм и определяется из следующего выражения:

$$\Delta C = N(n) \cdot T(\tau),$$

где $N(n)$, $T(\tau)$ – переменные, зависящие соответственно от частоты вращения шпинделя n и времени работы станка τ .

На основе проведенных исследований зависимости тепловых деформаций станка от частоты вращения шпинделя и времени работы станка были выбраны интервалы изменения n и τ , а также соответствующие этим интервалам значения N и T . Число N , соответствующее рассчитанному значению средней частоты вращения шпинделя на рассматриваемой операции, вводится в контроллер с клавиатуры. Число T определяется программно путем анализа контроллером времени работы станка.

Особое внимание уделено математическому обеспечению микропроцессорной системы. В качестве алгоритма вычисления упругих деформаций технологической системы использован итерационный алгоритм, не содержащий операции умножения и деления. Итерационный алгоритм разрабатывался согласно методике, предложенной Н.С. Анишиным. Однако, начальные условия алгоритма определяются как функции не одной, как рекомендовано, а двух переменных: радиальной составляющей силы резания R_r и вылета ползуна l .

Используется итерационный алгоритм, содержащий четыре перемен-

ных X, Y, U, W , для которых необходимо определение четырех начальных условий x, y, u, w . Данный алгоритм приведен ниже:

$$X_j = X_{j-1} - q_{j-1} \cdot W_{j-1};$$

$$Y_j = Y_{j-1} + q_{j-1} \cdot U_{j-1};$$

$$Y_z \rightarrow \frac{X \cdot U + Y \cdot W}{U + W},$$

где $q_{j-1} = [\text{sign}(X_{j-1} - Y_{j-1})] \cdot [\text{sign}(U + W)]$; $W_{j-1} = W \cdot 2^{j-1}$;

$U_{j-1} = U \cdot 2^{j-1}$; j - номер итерации ($j = 1, 2, \dots, n-1$); n - число разрядов аргумента, z - номер итерации, для которой $X_z = Y_z$ или последней ($n-1$) итерации.

Необходимо определить также начальные условия X, y, u, w чтобы численное значение величины Y_z , к которой сходится итерационный алгоритм, было равно численному значению упругих деформаций технологической системы, имеющих место в рассматриваемый момент времени. Для этого начальные условия алгоритма X, y, u, w будем считать не как первичные аргументы, а как промежуточные функции от новых аргументов P_y и l , тогда:

$$x = K_x P_y + n_x l + m_x;$$

$$y = K_y P_y + n_y l + m_y;$$

$$u = K_u P_y + n_u l + m_u;$$

$$w = K_w P_y + n_w l + m_w.$$

Если выбрать K_x, K_y, K_u, K_w равными $(0,5)^{h_x}, (0,5)^{h_y}, (0,5)^{h_u}, (0,5)^{h_w}$, а n_x, n_y, n_u, n_w равными $(0,5)^{b_x}, (0,5)^{b_y}, (0,5)^{b_u}, (0,5)^{b_w}$, то определение x, y, u, w может быть произведено операцией сдвига вправо (все h_i и b_i ($i \in \{x, y, u, w\}$) целые положительные числа) аргументов P_y и l и операцией подсуммирования к полученному результату величины m_i .

Таким образом, если заданная функция $F(P_y, l)$, отражающая зависимость между величиной упругих деформаций технологической системы в радиальном направлении и величинами радиальной составляющей силы резания и вылета ползуна, необходимо найти $x(P_y, l), y(P_y, l), u(P_y, l), w(P_y, l)$. Эти функции, будучи использованы в итерационном алгоритме, позволят вычислить Y_z , совпадающую при заданных P_y и l с $F(P_y, l)$. Речь фактически идет о нахождении коэффициентов K_i, b_i, m_i по заданным $F(P_y, l)$ и диапазонам изменения P_y и l . Показано, что аппроксимация Лапласа функции $F(P_y, l)$ имеет следующий вид:

$$F(P_y, l) \approx \frac{A^* P_y + C^* l + D^*}{G^* P_y + H^* l + 1} \cdot P_y$$

где $A^* = \frac{A}{L}$; $C^* = \frac{C}{L}$; $D^* = \frac{D}{L}$; $G^* = \frac{G}{L}$; $H^* = \frac{H}{L}$.

Как указывалось выше, с целью повышения точности расчета погрешностей обработки, податливость технологической системы в радиальном направлении определялась на различных вылетах ползуна для разных диапазонов действия P_y . В этом случае вполне правомерно считать податливость технологической системы в радиальном направлении функцией двух аргументов: вылета ползуна l и радиальной составляющей силы резания P_y . Тогда, в выражении аппроксимации $F(P_y, l)$ дробная часть имеет физический смысл податливости технологической системы. Для нахождения аппроксимации податливости, необходимо определение таких коэффициентов A^*, C^*, D^*, G^*, H^* , которые бы обеспечили минимум следующей функции:

$$\Phi(A^*, C^*, D^*, G^*, H^*) = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \left[F(P_{ym}, l_k) - \frac{A^* P_{ym} + C^* l_k + D^*}{G^* P_{ym} + H^* l_k + 1} \right]^2,$$

где m - число диапазонов изменения P_y ; K - число диапазонов изменения l .

Данная задача решена на ЭВМ при использовании подпрограммы поиска минимума функции многих переменных методом сопряженных градиентов. Если теперь представить аппроксимацию $F(P_y, l)$ к виду, соответствующему Y_2 - конечному результату вычислений итерационного алгоритма, то можно подобрать такие коэффициенты $K_x, K_y, K_u, K_w, P_x, P_y, P_u, P_w, m_x, m_y, m_u, m_w$, которые обеспечат равенство $Y_2 = F(P_y, l)$. Полученные значения $K_1 = \frac{1}{4}$, $K_y, P_x = P_y = m_x = m_y = 0$, $K_u = P_u = \frac{1}{2}$, $K_w = -\frac{1}{8}$, $m_u = 0,0152$, $m_w = 0,3710$ будучи использованными для расчета начальных условий итерационного алгоритма, позволят вычислить деформации технологической системы.

На основании проведенных исследований разработано программное обеспечение микропроцессорной системы. Программное обеспечение включает в себя основную программу и программы расчета деформации технологической системы и вывода управляющих сигналов. Основная программа осуществляет управление модулями расчета деформаций технологической системы и модулями вывода корректирующих сигналов. Программы расчета деформаций и программы вывода корректирующих сигналов вызываются сигналами прерываний периферийных устройств (С.Н., Р.С., АЦП) и таймеров 1, 2 контроллера.

Экспериментальное исследование точности обработки с использованием САУ проводилось на цилиндрических, конических и

сферических заготовках из стали 45 (HB=200).

При исследовании точности обработки диаметральных размеров цилиндрических поверхностей, обрабатывались наружные и внутренние поверхности. Обработка велась на полустистовых $t = 3$ мм, $v = 130$ м/мин, $s = 0,3$ мм/об и черновых $t = 8$ мм, $v = 90$ м/мин, $s = 0,5$ мм/об режимах резания. Обрабатывались партии заготовок по 8 штук в каждой. Применение САУ при полустистовой обработке внутренних и наружных поверхностей $\varnothing 1000$ мм позволяет снизить погрешность диаметральных размеров с 0,190 мм до 0,110 мм, разброс размеров с 0,055 мм до 0,010 мм, непрямолинейность на длине 400 мм с 0,010 мм до 0,005 мм, конусность с 0,025 мм до 0,006 мм. Применение САУ при черновой обработке цилиндрических поверхностей позволяет снизить погрешность диаметральных размеров с 0,320 мм до 0,120 мм, разброс размеров с 0,070 мм до 0,020 мм, непрямолинейность на длине 400 мм с 0,040 мм до 0,010 мм, конусность с 0,045 мм до 0,015 мм. Аналогичные результаты по непрямолинейности были получены при обработке конических заготовок.

Исследование по определению точности диаметральных размеров сферических заготовок проводилось на заготовках $\varnothing 800$ мм. В результате исследования установлено, что использование САУ при полустистовой обработке снижает погрешность диаметральных размеров с 0,225 мм до 0,110 мм, при черновой с 0,350 мм до 0,150 мм.

Использование САУ не изменяет шероховатости обрабатываемой поверхности.

В четвертой главе рассматривается разработка и исследование САН, а также даются рекомендации по совместному использованию САУ и САН.

Принцип действия большинства используемых в настоящее время САН основан на определении разности между заданным и фактическим положением инструмента. Это делает необходимым использование помимо системы ЧПУ ряда электронных блоков: блоков счета импульсов, вырабатываемых системой ЧПУ, блоков управления счетом импульсов и т.д., что понижает общую надежность системы, снижает точность размерной настройки. Между тем, как показали результаты проведенных исследований для осуществления размерной настройки станка, достаточно ввести в рабочий настроечный размер величину, численно равную

$$C = -(U + D),$$

где U — расстояние, которое проходит рабочий орган станка от

"0" станка до касания вершины резца шупа датчика; D - расстояние от "0" станка до шупа датчика. В процессе работы система ЧПУ постоянно измеряет расстояние от "0" станка до точки, в которой в данный момент находится рабочий орган. Таким образом, используя систему ЧПУ в режиме измерения, можно с большой точностью определять расстояние U . Расстояние D для рассматриваемой операции есть величина фиксированная. Это позволяет использовать систему ЧПУ в режиме размерной настройки. Для этого необходимо ввести подпрограмму размерной настройки в ПЗУ системы ЧПУ. Подпрограмма размерной настройки должна вызываться функцией настройки, заданной управляющей программой. Первоначально был разработан укрупненный алгоритм подпрограммы настройки (см. рис. 2). Данный алгоритм не конкретизирует выбор системы ЧПУ. Укрупненный алгоритм предусматривает выполнение системой ЧПУ следующих действий:

1. Анализ наличия функции настройки при выходе рабочего органа в любую точку, заданную управляющей программой координатами X_1, Z_1 .

2. Определение координаты настройки (координата настройки X или Z задается управляющей программой).

3. Задание шага ΔX (ΔZ) перемещения рабочего органа к шупу датчика и числа шагов i . Первоначально $i = 1$.

4. Определение текущей координаты X_2 (Z_2) перемещения рабочего органа к шупу датчика при $i = 1$:

$$X_2 = X_1 + \Delta X \cdot i; \quad Z_2 = Z_1 + \Delta Z \cdot i.$$

5. Задание шага ΔS скорости подачи перемещения рабочего органа к шупу датчика и числа шагов j . Первоначально $j = 1$. Рабочий орган начинает перемещение к шупу датчика после выполнения следующего условия:

$$\Delta S \cdot j \geq S_{зад},$$

где $S_{зад}$ - заданная подача настройки.

После прохождения рабочим органом расстояния ΔX (ΔZ) запрашивается сигнал датчика настройки. При отсутствии сигнала i увеличивается на 1 и счет X_2 (Z_2), $\Delta S \cdot j$ повторяется.

6. Определение величины коррекции X_k (Z_k) и занесение X_k (Z_k) в память системы ЧПУ. Величина коррекции определяется из выражений:

$$X_k = -(X_2 + X_d); \quad Z_k = -(Z_2 + Z_d),$$

где X_d - расстояние от оси вращения планшайбы шупа датчика;

Z_d - расстояние от плоскости планшайбы до шупа датчика. Размерная настройка закончена.

На основе укрупненного алгоритма разработан алгоритм подпрограммы размерной настройки для системы Н55-2, которой оснащен исследуемый станок мод И516Ф3. При разработке алгоритма подпрограммы настройки использовались свободные ячейки УПМК системы Н55-2. Измерительный элемент (рис.2), разработанной САН, выполнен на базе электроконтактного датчика мод.63104М. Шток 2 электроконтактного датчика I может перемещаться поступательно вдоль оси Z , а также совершать вращательное перемещение вокруг оси перпендикулярной плоскости XOZ . Данное обстоятельство делает возможным использование одного измерительного элемента для привязки инструмента по обоим осям (по оси X - в двух направлениях, по оси Z - в одном). Это достигается путем закрепления на штоке 2 шупа 3. Боковые грани шупа наклонены к вертикали под углом α . Угол α подобран таким образом, что датчик срабатывает при занятии гранью шупа вертикального положения. Тогда привязка левого (правого) отогнутого проходного резца 4 по оси X осуществляется касанием вершиной резца любой точки правой (левой) боковой грани шупа 3. Привязка данного резца по оси Z производится касанием вершиной резца любой точки верхней грани шупа 3. Привязка прямого проходного резца 5 по оси X осуществляется касанием вершиной резца правой боковой грани шупа 3 в точке начала скругления боковой грани. Привязка данного резца по оси Z производится касанием вершиной резца верхней грани шупа 3. Аналогично осуществляется привязка других типов резцов.

Проверка точности размерной настройки производилась для резцов различной конфигурации. Исследования показали, что поле рассеивания рабочих настроечных размеров при использовании САН снижается с 0.052 мм до 0.020 мм.

Разработаны рекомендации по совместному использованию САУ и САН. Рекомендации предусматривают, с целью повышения производительности обработки, уменьшение на I, по сравнению с нормативным, числа рабочих ходов путем устранения полустистового прохода.

В рекомендациях представлены зависимости, позволяющие рассчитывать погрешности размеров и формы обрабатываемых деталей по координатам вектора суммарной погрешности обработки (определяется согласно результатам исследований, описанных в главе 2). Рассчитанные показатели точности обработки сравниваются с допустимыми,

на основании чего решается вопрос о необходимости применения САУ и САН.

Совместное использование САУ и САН позволяет снизить погрешность диаметральных размеров обрабатываемых деталей при черновой обработке с 0.300 мм до 0.120 мм, при получистовой с 0.180 мм до 0.075 мм, осевых размеров с 0.090 мм до 0.020 мм, уменьшить разброс размеров в 4...5 раз.

Сделан вывод о том, что совместное использование САУ и САН при получистовой обработке позволяет получать точность размеров и формы обрабатываемых поверхностей, соответствующих точности размеров и формы получаемых при чистовой обработке без использования САУ и САН. Это дает возможность повысить производительность обработки путем сокращения числа рабочих и пробных ходов.

В пятой главе приведены результаты внедрения выполненных исследований в производство.

Показано, что экономический эффект получен путем сокращения числа рабочих, пробных и холостых ходов снижением времени настройки вследствие совместного использования САУ и САН.

Приведен расчет полученного экономического эффекта от внедрения результатов работы в машиностроительном производстве.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ:

1. Для определения погрешностей обработки на токарно-карусельных станках с ЧПУ рекомендуется использовать разработанную методику. Ошибка в определении погрешностей обработки по предлагаемой методике не превышает 8...9 %.

2. При токарно-карусельной обработке для снижения разброса и погрешности диаметральных размеров поверхностей деталей, конусности и непрямолинейности необходимо использовать САУ на базе микропроцессорной системы.

3. Для математического обеспечения микропроцессора (вычисление деформаций технологической системы) рекомендуется использовать итерационные алгоритмы.

4. Для снижения трудоемкости размерной настройки рекомендуется использовать САН, реализуемую введением подпрограммы размерной настройки в ПЗУ-системы ЧПУ.

5. Для повышения производительности токарно-карусельной обработки в 1,2...1,4 раза при достижении точности поверхностей обрабатываемых деталей по 7, 8 квалитетам, необходимо совмест-

ное использование разработанных САУ и САН.

6. Результаты исследования прошли промышленную проверку на Краснодарском станкостроительном заводе им.Садина. Внедрение САУ и САН позволило получить годовой экономический эффект 1048,18 руб. на один станок мод. I5I603.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Око С.В. Исследование влияния доминирующих технологических факторов на точность токарно-карусельной программной обработки. - Механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ в машиностроении: Тез. докл. республ. совещ. - Иванов, 1981, с. 139-143.

2. Окс С.В. Влияние погрешностей, обусловленных упругими откатами технологической системы, на точность токарно-на-
русельной обработки. - ЭИ. Технология обработки резанием,
1981, № 6, с. 1-3.

3. Окс С.В. Точность размерной настройки токарно-карuselных станков с ЧПУ. - Станки и инструмент, 1982, № 10, с. 25-26.

4. Окс С.В. Влияние технологических параметров станка и инструмента на точность токарно-карусельной обработки. - Изв. вузов. Машиностроение, 1982, № 12, с.85-87.

5. Око С.В. Погрешности токарно-карусельной обработки, обусловленные размерным износом режущего инструмента. - ЭИ. Технология обработки резанием. 1983. № 10. с. 9-11.

6. Око С.В. Расчет и снижение погрешностей при контурной обработке на токарно-карусельных станках с ЧПУ. - Станки и инструмент. 1983. № 10. с.25-26.

COKE

