

М 432127

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

ЧЕРНЯКОВ Евгений Леопольдович

УДК: 621.9.06-52

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Специальность 05.03.01 - процессы механической и физико-
химической обработки, станки и
инструмент

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1985

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

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Стародубов В.С.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Митрофанов В.Г.

- кандидат технических наук
Слепухов А.И.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного
совета

Защита диссертации состоится "2" июля 1985 г.
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана по адресу:
107005, Москва В-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по

Автореферат разослан "2"

Ученый секретарь специализированного
совета

И.Т.Н., доцент

Зак. 871 Л - 9704 от 3001

Типографи

M 432127

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В решениях XXVI съезда КПСС одним из главных направлений развития станкостроения признано существенное — на 20-30% — повышение точности и надежности современного металлорежущего оборудования.

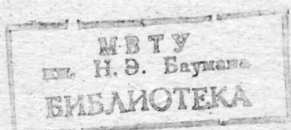
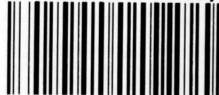
В последнее время все более широкое применение получают гибкие производственные модули и системы, построенные на базе многоцелевых станков с ЧПУ (МС с ЧПУ), позволяющих осуществлять обработку широкой номенклатуры сложных по форме изделий в условиях "безлюдной" технологии.

В связи с этим для МС с ЧПУ, как основного элемента технологической системы, главным становится обеспечение заданной точности обработки, а также сохранение этой точности в течение установленного периода эксплуатации, что характеризует их точностную (параметрическую) надежность. При этом необходимо знать характер и величину влияния на показатели точности обрабатываемых изделий выходных параметров точности МС с ЧПУ.

М432 124
Анализ существующих выходных параметров точности МС с ЧПУ показал, что они практически не позволяют оценить долю погрешности, вносимую МС с ЧПУ в общий баланс точности конкретно обрабатываемого на нем изделия, так как, в основном, характеризуют точность отдельных узлов станка. Используемые методы оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ в большинстве своем не учитывают места расположения заготовки в рабочем объеме станка, влияния на станок в процессе его эксплуатации различных внешних и внутренних факторов, а также вероятностный характер их проявления.

Погрешность обработки, вносимую станком, не позволяет определить и применяемый в последнее время метод оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ по точности обработанных на нем изделий-образцов. Главная причина заключается в том, что из суммарной погрешности обработки невозможно выделить долю, приходящуюся на каждый элемент технологической системы. Эту погрешность обработки определить также сложно и при использовании более комплексного, чем существующие ныне, выходного параметра точности МС с ЧПУ — траектории перемещения его рабочих органов.

Поэтому разработка метода оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ, лишенного указанных выше недостатков, а также позволяющего автоматизировать процесс получения и переработки



большого объема экспериментальной информации, необходимой для проведения оценки, является актуальной научной задачей.

Для проведения качественной и количественной оценки точности МС с ЧПУ в качестве его обобщенного выходного параметра точности используется геометрический образ (ГО) поверхности изделия, конкретно обрабатываемого на данном станке. Указанный ГО представляет собой отображение обрабатываемой поверхности этого изделия, которое может быть описано математически. Такой ГО формируется за счет взаимных связанных единичных движений рабочих органов, несущих инструмент и заготовку, без протекания физического процесса резания, при этом погрешность инструмента не учитывается. Степень отличия реального ГО, формируемого станком, от соответствующего ему идеального ГО, который задан, например, чертежом обрабатываемого изделия, позволит оценить точность испытуемого МС с ЧПУ по отношению к конкретно обрабатываемому на нем изделию.

Цель работы заключается в разработке и исследовании метода автоматизированной оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ, в качестве которых используются смоделированные ГО поверхностей конкретно обрабатываемых изделий, с учетом силового статического и теплового нагружений рабочих органов МС с ЧПУ, а также вероятностного характера формирования этих ГО при экспериментально полученных и рассчитанных погрешностях пространственного положения рабочих органов МС с ЧПУ.

Для этого необходимо решить следующие основные задачи:

1. Обосновать выбор типовых ГО поверхностей, по которым целесообразно проводить оценку доли влияния выходных параметров точности МС с ЧПУ на точность конкретно обрабатываемых на нем изделий.
2. Разработать математическую модель формирования идеальных и соответствующих им реальных типовых ГО поверхностей.
3. Создать на базе мини-ЭВМ автоматизированную экспериментальную установку для проведения экспериментальных исследований и выполнения оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ.
4. Разработать алгоритм и программное обеспечение, позволяющее автоматизировать экспериментальные исследования, расчет и построение выбранных типовых ГО поверхностей, а также диалоговый режим оценки выходных параметров точности и показателей точностной надежности МС с ЧПУ.
5. Провести комплекс экспериментальных исследований необходимых для расчета и построения выбранных типовых ГО в условиях, характеризующих начальный уровень точности исследуемого МС с ЧПУ, а

также в условиях силового статического и теплового нагружения его рабочих органов при их перемещении в процессе имитации обработки конкретного изделия. 6. Провести расчет и построение типовых ГО поверхностей конкретно обрабатываемых изделий на основе полученной экспериментальной информации. 7. На примере оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ вертикальной компоновки показать порядок применения предлагаемого метода. 8. Разработать инженерную методику автоматизированной оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ на основе используемого обобщенного выходного параметра точности.

Методы исследований. При исследованиях использовались теоретические и экспериментальные методы. Для теоретических исследований применялись методы теории вероятностей и математической статистики, теории базирования и размерного анализа, теории надежности, теории линейной алгебры, элементы теории машинной графики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на МС с ЧПУ вертикальной компоновки мод. 243 ВМБ2 с применением современного информационно-вычислительного комплекса, созданного на базе мини-ЭВМ "Искра-226".

Научная новизна работы заключается в автоматизированном расчете на ЭВМ по разработанным математическим моделям обобщенного выходного параметра точности МС с ЧПУ, характеризующего долю влияния погрешности данного станка на точность конкретно обрабатываемого на нем изделия, при возможности его расположения в любом месте рабочего объема МС с ЧПУ, с учетом действия на станок различных внешних и внутренних факторов и их вероятностного характера. Расчет производится с использованием информации о погрешностях геометрических параметров отдельных узлов МС с ЧПУ.

Практическая ценность работы заключается в разработке инженерной методики автоматизированной оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ вертикальной компоновки, разработке и изготовлении автоматизированной экспериментальной установки для реализации предлагаемой методики на практике и создании комплекса прикладных программ, которые позволяют автоматизировать процесс сбора и обработки экспериментальной информации, а также проводить расчет и построение ГО поверхностей, необходимых для оценки выходных параметров точности и показателей точностной надежности в диалоговом режиме, с возможностью представления результатов оценки в виде соответствующих графических изображений на

дисплей мини-ЭВМ.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы внедрены на машиностроительном предприятии с годовым экономическим эффектом 5000 руб.

Апробация работы. Основные теоретические и практические результаты работы были доложены на научно-технических семинарах: "Теоретические проблемы стандартизации гибких автоматизированных производств" во ВНИИМАШ Госстандарта СССР 27 марта 1984 г. и "Ощущение, диагностика промышленных роботов и машин-автоматов в комплексно-автоматизированном производстве" в ИМАШ АН СССР 12 марта 1985 г., на объединенном научно-техническом совете отдела в научно-исследовательского института 22 мая 1984 г., на научных семинарах кафедры "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1981-1984 гг.

Дубликации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 83 наименований, приложений, содержит 150 страниц машинописного текста, 91 рисунок, 35 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, дана общая характеристика работы.

В первой главе диссертации анализируются исследования в области точности механической обработки, а также точности и надежности металлорежущих станков. К фундаментальным работам в данной области относятся труды В.И. Кована, А.П. Соколовского, В.С. Балакшина, В.С. Корсакова, Э.А. Сателы, Д.Н. Решетова, а также многих других советских ученых. Показано, что при изучении вопросов точности металлорежущих станков используются два принципиально различных подхода: статистический и расчетно-аналитический. При этом отмечается, что расчетно-аналитический метод обладает определенными преимуществами при оценке выходных параметров точности металлорежущих станков.

Анализ существующих методов оценки выходных параметров точности станков показал, что они практически не позволяют выявить характер и величину влияния погрешностей МС и ЧПУ на показатели точности конкретно обрабатываемых на них изделий, не учитывают воздействия на станок спектра эксплуатационных нагрузок, вероят-

ностный характер их проявления. А.С.Прониковым предложен новый, комплексный выходной параметр точности станков - траектории перемещения их рабочих органов, лишенный указанных выше недостатков. Однако не решена проблема оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ по отношению к конкретно обрабатываемому на нем изделию с учетом его расположения в различных областях рабочего объема станка, а также размеров и формы применяемого для обработки данных изделий инструмента.

Одним из возможных путей учета характера и величины влияния погрешностей МС с ЧПУ на точность конкретно обрабатываемых на них изделий является использование в качестве выходных параметров точности данных станков ГО обрабатываемых поверхностей указанных изделий.

Анализ работ, посвященных методам оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ показал, что имеется тенденция к автоматизации процесса исследования станков. Это вызвано большой трудоемкостью проводимых исследований, необходимостью учета вероятностного характера формирования выходных параметров точности МС с ЧПУ при действии на станок различных факторов.

Использование МС с ЧПУ в гибких производственных модулях и системах, работающих в условиях "безлюдной" технологии, особое знач. ие придает вопросам изучения параметрической надежности этих станков.

Заслуга в постановке, решении и развитии проблем в области параметрической (точностной) надежности металлорежущих станков принадлежит А.С.Пронику и его ученикам. Рассмотрены основные достижения и делается вывод о том, что они требуют дальнейшего своего развития и обобщения для станков различных групп на основе выбора выходных параметров точности для этих станков, объективно характеризующих их технологическое назначение.

Вторая глава. посвящена разработке метода расчета и оценки точности, а также показателей точностной надежности МС с ЧПУ вертикальной компоновки, в качестве выходных параметров точности которых используются ГО поверхностей конкретно обрабатываемых на них изделий.

Если при функционировании всей технологической системы, построенной на базе МС с ЧПУ, получается обработанное изделие, то при работе только лишь станка без протекания физического процесса резания формируется ГО поверхности обрабатываемого изделия.

По отношению к существующим выходным параметрам точности МС с ЧПУ данный выходной параметр является обобщенным, поскольку в ходе формирования ГО обрабатываемой поверхности проявляется влияние практически всех узлов МС с ЧПУ. Такой ГО получается за счет взаимосвязанных формообразующих перемещений рабочих органов МС с ЧПУ, несущих инструмент и заготовку, по управляемым координатам X, Y, Z, A, B и C в ходе имитации процесса обработки конкретного изделия. При этом указанный ГО обрабатываемой поверхности представляет собой отображение реальной обрабатываемой поверхности и может быть описан математически.

На основе анализа конструкций корпусных изделий, обрабатываемых на МС с ЧПУ вертикальной компоновки, выбраны типовые ГО, по которым целесообразно проводить оценку точности и показателей точностной надежности. Подобный методический подход позволяет установить функциональную взаимосвязь между геометрическими параметрами перемещающихся рабочих органов, несущих инструмент и заготовку, и показателями точности формируемых типовых ГО.

Математическая модель формирования указанных ГО построена с использованием метода координатных систем с деформирующимися связями, предложенного Б.М.Базровым. На базовом элементе конструкции МС с ЧПУ, а также на основных формообразующих рабочих органах — шпинделе и столе станка — строятся координатные системы: $OXYZ, O_n X_n Y_n Z_n, O_{ct} X_{ct} Y_{ct} Z_{ct}$, относительное взаимное расположение которых при перемещении указанных рабочих органов позволяет определить в координатной системе ГО — $O_{го} X_{го} Y_{го} Z_{го}$ форму и размеры ГО поверхностей, конкретно обрабатываемых на данном станке изделий (рис. 1).

Предлагаемый метод оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ относится к расчетно-аналитическому, у которого исходная информация о пространственном положении рабочих органов станка под действием спектра эксплуатационных нагрузок определяется экспериментально. Такой подход позволяет повысить достоверность результатов, получаемых по разработанной математической модели.

Исходной информацией для подстановки в математическую модель являются пространственные координаты фиксированных точек (ФТ) 1, 2, 3, 4 и 5 (см. рис. 1), рабочих органов МС с ЧПУ, полученные при их перемещении вдоль управляемых координат с учетом воздействия различных факторов, которые возникают в процессе эксплуатации станка. Выбор количества и места расположения фиксированных точек на рабо-

чих органах, несущих инструмент и заготовку, в пределах принятых допущений и способов измерений отклонений в этих точках, должен обеспечивать однозначное определение пространственного положения рабочих органов при действии на них различных эксплуатационных факторов.

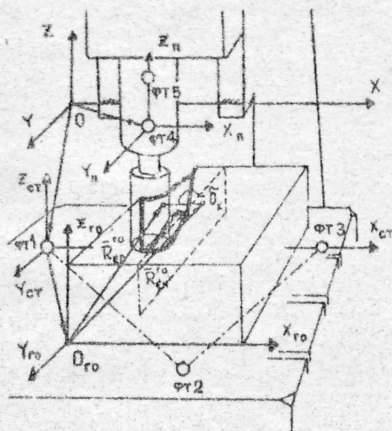


Рис. 1. Схема формирования ГО поверхности конкретно обрабатываемого изделия

Учет вероятностного характера формирования ГО производится на стадии экспериментального определения координат ФТ рабочих органов путем многократных замеров отклонений, возникающих при перемещении рабочих органов. Величину экспериментальной выборки, позволяющую получить эффективную и несмещенную оценку координат ФТ, предлагается определить в зависимости от вероятности безотказной работы МС с ЧПУ, регламентируемой в существующей нормативно-технической документации. Координаты ФТ рабочих органов МС с ЧПУ определяются как на холостых ходах, так и при действии на них различных эксплуатационных факторов. В качестве основных таких факторов выбраны силовое статическое нагружение, обусловленное весом используемых заготовок и приспособлений, и тепловое нагружение МС с ЧПУ, интенсивность которого зависит от длительности работы основных тепловыделяющих узлов на выбранных режимах.

Используя метод координатных систем с деформируемыми связями и основные положения теории линейной алгебры, получены аналитические зависимости, позволяющие описать как реальные ГО обрабатываемых поверхностей, так и соответствующие им идеальные ГО. В процессе сравнения идеального и реального ГО определяется величина отклонения $\delta_\kappa = R_{\xi p}^{r_0} - R_{\xi n}^{r_0}$, характеризующая долю погрешности, которую вносит оцениваемый МС с ЧПУ в формирование реального ГО, где $R_{\xi n}^{r_0}$ — радиус-вектор ξ -той точки поверхности идеального ГО, а $R_{\xi p}^{r_0}$ — радиус-вектор ξ -той точки поверхности реального ГО (см.

рис. 1). На основе разработанной А.С.Прониковым модели потери МС с ЧПУ работоспособности по параметру точности и предлагаемой в диссертации метода определения численных значений отклонений δ_n можно рассчитать и показатели точностной надежности оцениваемого МС с ЧПУ: δ_n, K_n, T_p .

Указанный метод оценки позволяет по найденным значениям δ_n определить запас точности δ_n и коэффициент запаса надежности по точности K_n , и для любого типового ГО построить зоны гарантированной обработки в рабочем объеме оцениваемого МС с ЧПУ, в которых в течение определенного времени T_p данным станком будет обеспечена заданная точность формирования обрабатываемых поверхностей при известном допуске δ на них и заданном уровне вероятности безотказной работы $P(t)$ МС с ЧПУ. На основе построенных зон гарантированной обработки может быть сформирован сертификат точности МС с ЧПУ, характеризующий его возможности по обработке с заданной точностью различных конкретных изделий.

В третьей главе рассматриваются результаты практической реализации предлагаемой методики оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ.

Экспериментальные исследования проводились на МС с ЧПУ мод. 243 ВМБ2 в лаборатории кафедры "Металлорежущие станки и автоматы" МВТУ им. Н.Э.Баумана. На основании расчетной схемы, разработанной для станков с вертикальной компоновкой (см. рис. 1), на базе мини-ЭВМ "Искра-226" была разработана автоматизированная экспериментальная установка, позволяющая производить автоматизированный эксперимент, сбор и статистическую обработку экспериментальной информации, расчет и графическое построение на дисплее мини-ЭВМ ГО обрабатываемых поверхностей для осуществления качественной и количественной оценки точности МС с ЧПУ в диалоговом режиме.

В процессе экспериментальных исследований определялись погрешности пространственного положения формообразующих рабочих органов МС с ЧПУ в его начальном состоянии, а также при действии на станок осевого статического нагружения в диапазоне 0-1100 Н и теплового нагружения с помощью вращения шпинделя станка в течение 4-8 часов на частоте 100,250 с⁻¹.

Для определения погрешности пространственного положения рабочих органов МС с ЧПУ использовались электронные измерительные системы мод.214 с индуктивными измерительными преобразователями (ИП) мод.223 завода "Калибр" (10 шт.). Температура узлов МС с ЧПУ

измерялась с помощью оригинальных полупроводниковых ИП. Экспериментальная информация с ИП поступала через аналого-цифровой преобразователь в оперативное запоминающее устройство мини-ЭВМ.

Результаты экспериментальных исследований заносились на гибкие магнитные диски и распечатывались в форме протоколов испытаний МС с ЧПУ, а также выводились в виде соответствующих графиков на графический дисплей мини-ЭВМ и копировались с помощью графопроектиратора Н-336, входящего в комплект периферийных устройств мини-ЭВМ.

Оценка отклонений от прямолинейности при перемещении стола станка вдоль управляемой координаты OY в плоскости XOY (см. рис. 1) показала, что для трех ФТ 1, 2 и 3, расположенных на рабочей поверхности стола, эти отклонения не превосходят по абсолютной величине допуска δ , равного 10 мкм, ни в начальном состоянии МС с ЧПУ, ни при силовом статическом нагружении во всем диапазоне, ни при тепловом нагружении в течение 8 час. При измерении отклонения от параллельности в плоскости YOZ в этих же точках, указанный допуск был превышен уже в начальном состоянии МС с ЧПУ в среднем, на 12 мкм. Силовое статическое нагружение вызвало увеличение отклонений от параллельности, в среднем, на 2 мкм. Тепловое нагружение МС с ЧПУ не оказало заметного влияния на полученные значения отклонений от параллельности. В тоже время тепловое нагружение МС с ЧПУ в течение 4 час. при частоте вращения шпинделя 100 с вызвало значительное смещение, в среднем, на 7,5 мкм ФТ 4 и 5 шпинделя.

По результатам экспериментальных исследований были получены уравнения аппроксимирующих функций координат ФТ рабочих органов МС с ЧПУ, позволяющие математически описать простейшее положение этих органов данного станка при их перемещении в различных условиях нагружения. Указанные уравнения являются исходной информацией для проведения расчетов и построения выходных параметров точности МС с ЧПУ.

Для обеспечения функционирования автоматизированной экспериментальной установки в заданном режиме было разработано соответствующее прикладное программное обеспечение, состоящее из трех основных программ: "SERVICE", "POLYNOM" и "DIALOG". Программа "SERVICE" обеспечивает проведение автоматизированного эксперимента и сбора экспериментальной информации. Программа "POLYNOM" производит статистическую обработку экспериментальной информации, а также осуществляет полиномиальную аппроксимацию результатов эксперимен-

тов с одновременным контролем качества аппроксимации на дисплее мини-ЭВМ путем наложения изображения рассчитанного полинома на график соответствующего геометрического параметра рабочего органа, полученного экспериментально. Подготовка с помощью программы "POLYNOM" исходные данные позволяют перейти к автоматизированной оценке входных параметров точности и показателей точностной надежности оцениваемого МС с ЧПУ, осуществляемой с помощью программы "DIALOG" в диалоговом режиме.

Четвертая глава посвящена качественной и количественной оценке выходных параметров точности и показателей точностной надежности МС с ЧПУ вертикальной компоновки на примере станка мод. 243 ВМ2 с использованием предлагаемой методики, а также проверке адекватности разработанной математической модели реальному процессу формирования обрабатываемой поверхности.

Оценка выходных параметров точности исследуемого МС с ЧПУ разработана на примере ГО поверхностей, соответствующих вертикальной плоскости и отверстию с вертикальной осью. Рассматриваемый ГО вертикальной плоскости формируется перемещением стола станка по координате ОУ на величину 240 мм, расположен на высоте 120 мм над рабочей поверхностью стола, при собственных размерах 40x240 мм. ГО отверстия имеет диаметр 30 мм и высоту 210 мм, считая от рабочей поверхности стола.

После введения в программу "DIALOG" исходных уравнений аппроксимирующих функций, списывающих координаты ФТ 1, 2 и 3 при перемещении стола вдоль координаты ОУ на величину 240 мм в условиях силового статического нагружения в 100 Н, а также координат ФТ 4 и 5 (см. рис. 1), задающих пространственное положение шпинделя в начальном состоянии МС с ЧПУ, на дисплее мини-ЭВМ было получено изображение поверхности вертикальной плоскости, которое формирует исследуемый станок в этом случае. Качественная оценка полученного изображения показала, что существует заметное отклонение от плоскостности, связанное с отклонением от прямолинейности при перемещении стола вдоль координаты ОУ. Количественная оценка изображения позволила определить, что при выбранном расположении ГО в рабочем объеме исследуемого станка, в его начальном состоянии, имеется запас точности δ , равный 2 мкм, при уровне вероятности безотказной работы $P(t) = 0.9772$, что соответствует средним требованиям по надежности к МС с ЧПУ. Количественная оценка ГО отверстия, расположенного в средней части рабочего объема, показала, что формирование данного ГО с допуском 10 мкм

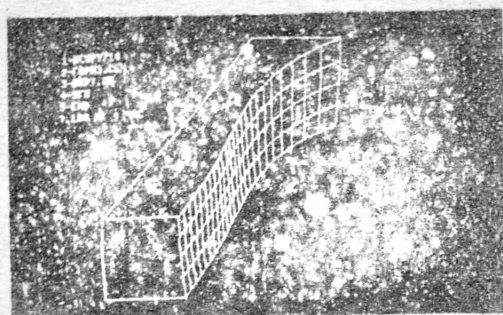
на межцентровое расстояние возможно лишь начиная с высоты 140 мм, считая от рабочей поверхности стола.

После одного часа теплового нагружения МС с ЧПУ запас по точности оказался исчерпанным и уже не обеспечивалось формирование ГО вертикальной плоскости с точностью, не превышающей 10 мкм на отклонение от плоскостности. В тоже время формирование ГО отверстия, в пределах допуска на межцентровое расстояние оказалось возможным уже с высоты 120 мм над рабочей поверхностью стола.

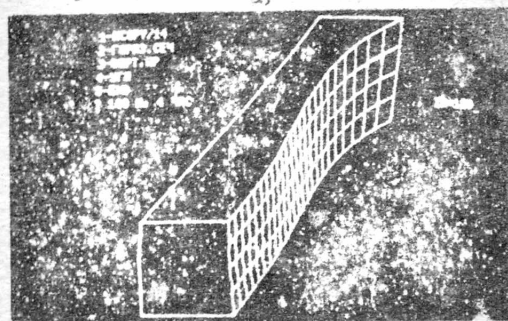
В ходе количественной оценки было выявлено, что для ГО существуют зоны гарантированной обработки, в которых эти ГО могут быть сформированы с отклонениями в пределах допуска. Так для ГО вертикальной плоскости, рассчитанного и построенного для начального состояния МС с ЧПУ, размер такой зоны составляет 240х240 мм по координатам OZ и OY при центральном расположении стола станка на направляющих и допуске на отклонение от плоскости, равном 10 мкм. Изменение указанных размеров зоны при эксплуатации МС с ЧПУ вызывается, в основном, тепловым нагружением станка. Так, при 1 и 4 часах теплового нагружения эти размеры уменьшились до 40х110 и 40х50 мм соответственно по координатам OZ и OY .

Существенное влияние на размеры зоны гарантированной обработки оказывает изменение места расположения ГО в рабочем объеме станка (рис.2). Например, изменение положения ГО вертикальной плоскости, рассчитанного и построенного для 4-х часов теплового нагружения МС с ЧПУ, при уровне силового статического нагружения стола станка в 100 Н, в рабочем объеме станка из нижнего положения вверх по координате OZ сначала на 120 мм, и дополнительно еще на 60 мм, привело к соответствующему смещению полученной зоны гарантированной обработки вдоль координаты OY сначала на 30 мм, а затем еще на 10 мм, что необходимо учитывать при определении места обработки заготовки в рабочем объеме МС с ЧПУ.

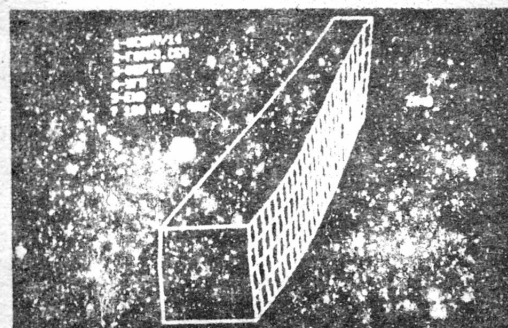
В процессе оценки выходных параметров точности станка мод. 243 РМ2 по предлагаемой методике было выявлено, что несмотря на несоответствие геометрической точности исследуемого МС с ЧПУ по отдельным параметрам регламентированным допускам (отклонение от параллельности в плоскости YOZ было больше 10 мкм) в рабочем объеме могут иметь место зоны, в которых, тем не менее, будет обеспечено формирование типового ГО с заданной точностью. Это объясняется комплексацией погрешностей геометрических параметров при различном относительном расположении рабочих органов МС с ЧПУ.



а)



б)



в)

Рис. 2. Изменение формы ГО вертикальной плоскости при его расположении в различных местах рабочего объема:
а) при $Z=180$ мм; б) при $Z=120$ мм; в) при $Z=0$ мм.

Для подтверждения адекватности разработанной математической модели процессу реального формирования обрабатываемых поверхностей на МС с ЧПУ была проведена серия экспериментов. Обрабатывались вертикальные плоскости заготовки из термообработанного алюминия, расположение которых в рабочем объеме станка соответствовало расположению Ю вертикальной плоскости, полученного путем математического моделирования на мини-ЭВМ. Обработка производилась в начальный момент времени работы станка, а также для 1 и 4 часов его теплового нагружения при уровне силового статического нагружения в 100 Н, что соответствует суммарному весу используемой заготовки и приспособления.

Для минимизации факторов, возникающих при резании применялось выхаживание обработанной поверхности в течение 10+15 мин при минимальной глубине резания (0,01 мм) в среде обильной смазки. Определялась топография обработанных поверхностей, которая затем сглаживалась с формой поверхности Ю, соответствующего начальному состоянию станка, а также 1 и 4 часам его теплового нагружения. Наблюдалась удовлетворительная качественная и количественная сходимость форм полученных поверхностей. В среднем, погрешность описания разработанной математической моделью процесса формирования реально обрабатываемой поверхности составила 24%.

В пятой главе приведена инженерная методика автоматизированной оценки точности многоцелевых станков с ЧПУ, разработанная на основе предлагаемого метода, а также расчет ожидаемого экономического эффекта применения данной методики.

Методика может быть использована как на заводе-изготовителе МС с ЧПУ, так и на заводе-потребителе этих станков. При использовании методики на заводе-изготовителе появляется возможность оценить качество проектирования, изготовления, сборки и наладки вновь изготовленного МС с ЧПУ по отношению к формируемым на нем типовым Ю, которые обуславливаются его технологическим назначением. На основе расчета показателей точности и точностной надежности для этих Ю разрабатывается сертификат МС с ЧПУ, который гарантирует достижения заданной точности и точностной надежности при обработке конкретных изделий при установленном уровне вероятности безотказной работы $P(t)$ в течение определенного времени.

Применение предлагаемой методики на заводе-потребителе МС с ЧПУ позволяет определить возможность обработки на данных станках с заданной точностью конкретной для данного типа производства

номенклатуры изделий.

Кроме того, контролируя изменение во времени и в рабочем объеме формируемых ГО на различных МС с ЧПУ, завод-потребитель может назначить оптимальную структуру ремонтного цикла своего станочного парка. Сравнение же выходных параметров точности, полученных после выполнения регламентных работ с аналогичными данными, полученными до ремонта, позволит дать объективную оценку проводимых мероприятий.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих методов оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ показал, что они, в основном, характеризуют точность их отдельных узлов, что не позволяет определить долю погрешности станка в общем балансе погрешности обработки конкретного изделия. Кроме того, они не учитывают возможности расположения обрабатываемого изделия в различных областях рабочего объема МС с ЧПУ и, в большинстве случаев, вероятностный характер формирования погрешности пространственного положения рабочих органов, несущих, инструмент и заготовку.

2. С целью определения доли влияния МС с ЧПУ на погрешность обработки конкретных изделий, в качестве выходных параметров точности данного станка используются типовые ГО, являющиеся отображением поверхностей, наиболее часто встречающихся при обработке конкретных изделий, и позволяющие проводить указанную оценку с учетом возможности расположения этих ГО в различных областях рабочего объема МС с ЧПУ, формы и размеров режущего инструмента, а также вероятностного характера формирования типовых ГО при действии на станок различных факторов.

3. Разработаны математические модели типовых ГО, позволяющие установить функциональную взаимосвязь между геометрическими параметрами МС с ЧПУ, определяемыми в различных условиях нагружения его рабочих органов, и показателями точности данных типовых ГО.

4. Для реализации предлагаемого метода оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ на базе мини-ЭВМ "Искра-226" создана установка, позволяющая автоматизировать сбор и обработку экспериментальной информации, расчет, построение и оценку типовых ГО, а также осуществить программную коррекцию погрешности применяемых в ее составе стандартных средств измерений, что обеспечило повышение, в среднем на 30%, точности определения эксперимен-

тельных данных.

5. На базе предложенного алгоритма функционирования установка разработана комплексно прикладных программ, использование которых в ходе экспериментальных исследований МС с ЧПУ позволило получить уравнения аппроксимирующих функций координат фиксированных точек его рабочих органов, являющихся исходной информацией для расчета и построения типовых ГО. Применение указанных программ обеспечивает диалоговый режим качественной и количественной оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ.

6. В ходе оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ мод. 243 ВМФ2 было выявлено, что для ГО вертикальной плоскости, рассчитанного и построенного для начального состояния данного МС с ЧПУ, существует зона гарантированной обработки, в которой этот ГО может быть сформирован с отклонением от плоскостности не превышающим 10 мкм. Размеры зоны составляют 240x240 мм по координатам OZ и OY при центральном расположении стола станка на направляющих. Силовое статическое нагружение стола в диапазоне 0-1100 Н не оказывает существенного влияния на указанные размеры, в то время как тепловое нагружение МС с ЧПУ в течение 1 и 4 часов привело к уменьшению размеров данной зоны до 40x110 и 40x150 мм соответственно по координате OZ и OY.

7. Изменение положения ГО вертикальной плоскости, рассчитанного и построенного для тех же 4-х часов теплового нагружения МС с ЧПУ, в рабочем объеме станка из нижнего положения вверх по координате OZ сперва на 120 мм, дополнительно, еще на 30 мм привело к соответствующему смещению зоны гарантированной обработки вдоль координаты OY сначала на 30, а затем еще на 10 мм, что необходимо учитывать при определении места обработки заготовки в рабочем объеме МС с ЧПУ.

8. Экспериментальная оценка результатов математического моделирования показала удовлетворительную качественную и количественную сходимость формы поверхности обработанного изделия с формой поверхности типового ГО, полученного путем моделирования. Погрешность описания разработанной математической моделью процесса реального формирования обрабатываемой поверхности составила, в среднем, 24%.

9. Определение выходных параметров точности вновь изготовленного МС с ЧПУ по предлагаемой методике позволяет рассчитать сертификат точности, характеризующий индивидуальные возможности

оцениваемого станка по обработке широкой номенклатуры изделий, располагаемых в различных областях его рабочего объема при заданном допуске на обработку и установленном уровне вероятности безотказно работы $P(t)$. Определение изменения типовых ГО во времени дает возможность оценивать точностную надежность МС с ЧПУ.

10. Результаты диссертационной работы внедрены на машиностроительном предприятии с годовым экономическим эффектом 5000 руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Надежность в технике. Технологические системы. Расчет и оценка показателей параметрической надежности технологического оборудования с ЧПУ: Методические рекомендации. - М.: ВНИИМАШ-МВТУ, 1980. - 109 с.

2. Стародубов В.С., Черняков Е.Л. Геометрический образ обрабатываемой детали как обобщенный выходной параметр точности металлорежущих станков с ЧПУ. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1983, № 10, с. 140-144.

3. Стародубов В.С., Черняков Е.Л. Аналитическое исследование формирования обобщенного выходного параметра точности металлорежущих станков с ЧПУ. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1984, № 4, с. 156-160.

4. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. - М.: Изд. Стандартов, 1984. - 50 с.

5. Черняков Е.Л. Методика и средства экспериментального исследования процесса формирования обобщенного выходного параметра точности многооперационных станков с ЧПУ вертикальной компоновки. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1984, № 6, с. 134-138.

В.С.

