

М 491 693

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет им.Н.Э.Баумана

На правах рукописи

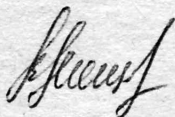
МЕНЩЕРЯКОВА Вера Борисовна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕТОДА
ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ
ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Специальность: 05. 03.01 - процессы механической и
физико-технической обра-
ботки, станки и инструменты

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-1990

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени
государственном техническом университете им.Н.Э. Баумана

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

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Е.Г.Нахапетян

кандидат технических наук, доцент
А.И.Слипухов

Ведущее предприятие - МПО "Знамя Революции"

Защита диссертации состоится "25" октября 1990 г.
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Мос-
ковском техническом университете им.Н.Э. Баумана по адресу:
107005 Москва В-5. 2-я Бауманская ул., дом 5.

и в библиотеке МГТУ име-

земляре, заверенный
адресу.

20/10 1990 г.

Р.К.Мещеряков

Объем I п.л.

Баумана

МЧФ1 643

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Эффективным решением проблемы автоматизации серийного и мелкосерийного производства является применение многоцелевых станков с ЧПУ (МС с ЧПУ) и построенных на их основе гибких производственных модулей (ГПМ). В этом случае реализуются принципы "безлюдной" технологии механической обработки.

К современным ГПМ, построенным на базе МС с ЧПУ, предъявляются требования широких технологических возможностей, существенного увеличения степени автоматизации и высокого уровня их выходных параметров точности.

На ГПМ последовательное выполнение всего технологического процесса обработки корпусного изделия обеспечивается функционированием элементов технологической системы (ТС) — станка МС с ЧПУ, режущих инструментов, устанавливаемых в специальных оправках и заготовки, устанавливаемой в приспособлении на съемном столе-спутнике. Для обеспечения заданных параметров точности обработки изделия, которые являются выходными параметрами точности ГПМ, необходимо знание формирования погрешности обработки изделия с учетом влияния всех элементов ГПМ. При этом желательно знать характер и долю влияния на получаемую погрешность обработки изделия погрешностей каждого отдельного элемента ГПМ. Это позволит не только обеспечить высокий начальный уровень выходных параметров точности ГПМ и сохранение этого уровня в течение заданного периода эксплуатации, что характеризует точностную надежность ГПМ, но и позволит разрабатывать рекомендации по снижению и компенсации погрешностей отдельных элементов ГПМ, а также устанавливать требования, которые необходимо предъявлять к данным элементам ГПМ для решения указанных задач.

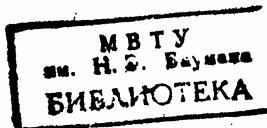
Анализ существующих методов оценки выходных параметров точности показал, что в основном они разработаны для МС с ЧПУ, являющегося основным элементом ГПМ и от выходных параметров которого существенно зависят параметры точности изготавливаемого изделия. Для ГПМ оценку выходных параметров точности можно производить измерением параметров точности реального изделия, получаемого в процессе обработки. Такой метод оценки показывает совместное влияние погрешностей как МС с ЧПУ, так и погрешностей, обусловленных другими элементами ГПМ. Однако, в данном

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1491693

Мещерякова В.Б. Разработка



случае трудно выделить характер и долю влияния на точность обработки изделия (или отдельных его поверхностей) погрешностей отдельных элементов ГМ.

При функционировании ГМ существует специфика проведения статической настройки по сравнению с обычным МС с ЧПУ. Учет влияния всех погрешностей, возникающих в процессе статической настройки ГМ, и при проведении непосредственно механической обработки изделия, их вероятностного характера, а также учет изменения величин этих погрешностей под действием эксплуатационных факторов, требует сбора и переработки значительного объема информации. Поэтому, определение выходных параметров точности ГМ, как ТС, построенной на базе МС с ЧПУ, позволяющих учитывать влияние всех элементов ГМ, а также разработка метода автоматизированной оценки этих выходных параметров точности, который позволил бы оценивать влияние на получаемую погрешность обработки изделий как самого МС с ЧПУ, так и влияния других элементов ГМ, учитывать специфику проведения статической настройки ГМ, а также влияние различных факторов, имеющих место при функционировании ГМ и вероятностный характер их проявления, является актуальной научной задачей.

Цель работы. Разработка и исследование метода автоматизированной оценки выходных параметров точности ГМ, в качестве которых используются параметры смоделированных единичных геометрических образов поверхностей корпусных изделий, получаемых на ГМ чистовым фрезерованием, с учетом начальных геометрических погрешностей элементов ГМ, погрешностей, возникающих в процессе его статической настройки, при изменении величин этих погрешностей под влиянием тепловых деформаций МС с ЧПУ, а также вероятностного характера формирования указанных геометрических образов.

Методы исследований. При исследованиях использовались теоретические и экспериментальные методы. Для теоретических исследований применялись методы теории вероятностей и математической статистики, метод координатных систем с деформирующимися связями, методы теории базирования и размерного анализа, теории линейной алгебры и элементы теории машинной графики. Экспериментальные исследования проводились на гибких производственных модулях, работающих в составе ГПС "Мальгирис", на специальных участках ГПС, оснащенных современным контрольно-измерительным

оборудованием для настройки столов-спутников и режущих инструментов на ИПО "Знамя Революции", в лаборатории кафедры "Металлорежущие станки и автоматы" МГТУ им. Н.Э. Баумана при использовании информационно-вычислительного комплекса, созданного на базе мини-ЭВМ "Искра-226".

Научная новизна. Заключается в использовании для оценки выходных параметров точности ГПМ параметров точности геометрических образов (ГО) различных уровней, являющихся отображением реально обрабатываемых на ГПМ поверхностей изделия, получаемых в процессе моделирования функционирования ГПМ с учетом специфики проведения его статической настройки и при действии погрешностей всех элементов ГПМ. Разработана математическая модель формирования ГО плоских поверхностей корпусных изделий, позволяющая определить долю влияния погрешностей отдельных элементов ГПМ на получаемую точность обработки. На этой основе предложен метод автоматизированного расчета и построения указанных ГО для проведения качественной и количественной оценки их параметров точности, а следовательно, параметров точности рассматриваемых поверхностей изделий.

Практическая ценность. Разработана инженерная методика, позволяющая проводить автоматизированную оценку выходных параметров точности ГПМ для обработки корпусных изделий (на заводе-изготовителе ГПМ, а также в процессе эксплуатации ГПМ на заводе-потребителе). Данная методика передана на станкостроительный завод "Жальгири", а также использована в методических рекомендациях ВНИИНАШ "Надежность в технике. Программные испытания машин и оборудования". Для реализации предлагаемой методики на практике разработана и изготовлена автоматизированная экспериментальная установка на базе мини-ЭВМ "Искра-226", создана специальная программа, позволяющая проводить расчет и построение ГО поверхностей II уровня, для проведения качественной и количественной оценки выходных параметров точности ГПМ. Ожидаемый экономический эффект за год внедрения инженерной методики автоматизированной оценки выходных параметров точности ГПМ на этапах их изготовления и последующей эксплуатации составляет 33187 руб.

Апробация. Основные теоретические и практические результаты работы были доложены на Всесоюзных научно-технических семинарах и конференциях: "Совершенствование структуры и обновление парка оборудования в машиностроении" в МДНТИ им. Ф.Э. Дзержинского (г.

Москва, 23-24 мая 1988г.), "Автоматическое манипулирование объектами и технологическая оснастка в станках с ЧПУ и ПК" в Тернопольском филиале Львовского политехнического института (г.Тернополь, 14-15 декабря 1988г.), на научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и автоматы" МГТУ им.Н.Э.Баумана в 1985-1988г.г.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 7 печатных работах и 3 рац.предложениях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов и приложения. Содержит 139 страниц машинописного текста, 96 рисунков, 10 таблиц и список литературы из 81 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе анализируются исследования в области точности механической обработки изделий, а также точности металлорежущих станков. Данному вопросу посвящены работы Н.А. Бородачева, В.И. Кована, А.П.Соколовского, В.С.Корсакова, Б.С.Балакшина, А.А.Маталина, Д.Н.Решетова, А.С.Проникова и многих других советских ученых.

Проведенный анализ работ показал, что существует два принципиально различных метода расчета и оценки точности механической обработки изделий, которая по существу является выходным параметром точности всей технологической системы в целом: вероятностно-статистический и расчетно-аналитический. При указанных оценках точности механической обработки изделий наиболее предпочтительной является оценка точности, осуществляемая при построении математических моделей, основанных на знании механизма формирования погрешности обработки и результатах аналитических и экспериментальных исследований. Учитывая особенности функционирования ГПМ, построенного на базе МС с ЧПУ и являющегося технологической системой (ТС), необходимо знание формирования погрешности обработки изделия при действии всех элементов ГПМ и с учетом характера влияния каждого его элемента. Существующие на практике методы оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ и построенных на их основе ТС не позволяют выявить долю участия и характер влияния на точность обработки изделия погрешностей отдельных элементов ТС. Поэтому, разработана структура оценки выходных параметров точности ГПМ, в качестве которых принимаются параметры точности модели изделия или его геометрического образа (ГО), получаемого в процессе моделирования функционирования ГПМ с учетом

погрешностей его отдельных элементов. При этом смоделированное изделие рассматривается как совокупный ГО изделия, формируемый соответствующими единичными ГО обрабатываемых поверхностей. Единичный ГО поверхности получается за счет взаимосвязанных формообразующих перемещений рабочих органов МС с ЧПУ, несущих инструмент и заготовку, по управляемым координатам в ходе имитации процесса обработки и представляет собой отображение конкретной реально обрабатываемой поверхности изделия, которая может быть описана математически.

Единичные ГО могут быть различных уровней: ГО I уровня, формируемые с учетом влияния погрешностей МС с ЧПУ; ГО II уровня - с учетом погрешностей всех элементов ГПМ. Единичные и совокупные ГО I и II уровней характеризуются рядом свойств (размер, форма, расположение поверхностей), отклонения которых и представляют параметры точности моделируемого изделия. Полученные значения отклонений смоделированных единичных ГО II уровня сравниваются с величинами допусков, задаваемых чертежом и определяющих точность изготовления данного изделия.

Параметры точности единичных ГО II уровня будут формироваться с учетом процесса автоматического выполнения непосредственно механической обработки и существенным образом зависят от точности статической настройки ГПМ. Проведен анализ действующих погрешностей и особенности проведения статической настройки ГПМ, которая по сравнению со статической настройкой МС с ЧПУ проводится в два этапа. На первом этапе операторами проводится настройка режущих инструментов в оправках и заготовок в приспособлениях на спутниках вне ГПМ. На втором этапе настроенные элементы ГПМ автоматически устанавливаются в строго определенном положении на МС с ЧПУ, за счет чего создается требуемое относительное положение поверхностей заготовки и режущих кромок инструментов (рис. 1).

Без оснащения ГПМ системами автоматического измерения и компенсации погрешностей, указанная специфика статической настройки приводит к необходимости очень точной настройки инструментальных оправок и спутников на первом этапе и точной последующей установки и закрепления их на станке при выполнении второго этапа.

Вторая глава посвящена разработке математической модели, позволяющей рассчитывать радиусы-векторы $\vec{R}_i$, определяющие положение точек формируемой плоской поверхности при чистовом фрезе-

ровании, являющейся единичным ГО II уровня, с учетом начальных геометрических погрешностей элементов ПМ, погрешностей, возникающих в процессе его статической настройки, с учетом изменения величин этих погрешностей в процессе температурного нагружения МС с ЧПУ.

Математическая модель формирования единичных ГО II уровня построена при использовании метода координатных систем с деформируемыми связями, предложенного Б.М.Базровым. Для моделирования единичных ГО II уровня проведен анализ структуры исследуемого ПМ на основе построения его эквивалентной схемы, позволяющей выделить все элементы, участвующие в процессе формирования указанных ГО.

На базе исследований процессов формирования погрешностей элементов ПМ, при имеющейся специфике проведения его статической настройки, разработаны расчетные схемы процессов сборки элементов ПМ, позволяющие определить экспериментально-расчетным путем величины и направления суммарных погрешностей собираемых и настраиваемых инструментальных оправок с режущим инструментом $\Sigma \Delta c_{ин.оп}$ и спутников с заготовками $\Sigma \Delta c_{ст}$. Выведены формулы, позволяющие проводить расчет: границ диапазонов величин радиальных биений различных режущих инструментов, установленных в инструментальных оправках $\Sigma \Delta c_{ин.оп}$; величин угловых и линейных смещений, характеризующих суммарную погрешность собранных и настроенных спутников $\Sigma \Delta c_{ст}$, а также формулы, позволяющие определить влияние погрешностей отдельных элементов сборочных единиц на величины указанных суммарных погрешностей.

Моделирование единичных ГО II уровня обрабатываемого на ПМ изделия проводилось на основе общей расчетной схемы функционирования ПМ, включая процесс формирования погрешностей, возникающих как на первом так и на втором этапах статической настройки ПМ (рис.2). Расчетная схема представляет собой совокупность систем координат, построенных на основных и исполнительных базах элементов ПМ и материализованных в виде фиксированных точек (ФТ).

Координатные системы построены на основных базах пиноли станка $OXYZ_0^0$; исполнительных базах шпинделя $OXYZ_{ш}^0$; основных базах оправки $OXYZ_{оп}^0$; режущих кромок инструмента $OXYZ_{ин}^{P.A.}$; исполнительных базах стола станка $OXYZ_c^0$; основных базах спутника $OXYZ_{ст}^0$; технологических базах заготовки (совокупного ГО II уровня) $OXYZ_{зг}$. Расчетная схема представляет расположение ФТ, задающих пространственное положение элементов ПМ в базовой сис-

теме координат OXU_2 , и показывает процесс формирования радиус-вектора $\vec{R}_{r0i}^i$, описывающего единичный ГО II уровня вертикальной поверхности (рис. 2).

Расчетная схема отражает особенности функционирования ГИМ. Погрешности первого этапа статической настройки, а именно суммарная погрешность собранной оправки с инструментом $\Sigma \Delta_{c.m.m}^c$ и суммарная погрешность собранного спутника с заготовкой $\Sigma \Delta_{c.cu}^c$ характеризуется соответственно радиус-векторами и матрицами поворотов $\vec{R}_{21}, S_{21}; \vec{R}_{36}, S_{36}$. Погрешности второго этапа статической настройки ГИМ, в частности, погрешности группы шпинделя станка Δ_c^p и погрешность группы стола станка Δ_c^p характеризуются радиусами-векторами и матрицами поворотов $\vec{R}_1, S_1; \vec{R}_2, S_2; \vec{R}_{22}, S_{22}$, а погрешности автоматической установки собранной оправки с инструментом в шпиндель станка $\Delta_{y.m}$ и погрешность автоматической установки спутника с заготовкой в рабочую зону $\Delta_{y.cu}$ соответственно радиус-векторами $\vec{R}_3, S_3; \vec{R}_{23}, S_{23}$.

Взаимное положение замыкающих координатных систем OXU_{20} и OXU_{2m}^{pk} позволяет получить ξ -ую точку моделируемого единичного ГО II уровня. Отклонение радиус-вектора $\vec{R}_{r0i}^i$ от заданного значения будет характеризовать погрешность обработки в данной точке. Векторное уравнение для определения координат $\vec{R}_{r0i}^i$ любой ξ точки формируемого ГО: $\vec{R}_{r0i}^i = \vec{R}_1^i + \vec{R}_3^i$. Для ГО II уровня вертикальной плоскости, формируемой при перемещении стола ГИМ вдоль координаты ОХ, получено следующее выражение:

$$\sum_{i=1}^{\xi} \vec{R}_{r0i}^i = \sum_{i=1}^{\xi} \{[(x_i + l_{x1}) \cdot \vec{i} + y_i \cdot \vec{j} + z_i \cdot \vec{k}] + \sum_{k=1}^L \{[(x_i - (x_k + l_{xk})) \cdot \cos \alpha_{k1} \cdot \vec{i} + (y_i - y_k) \cdot \cos \beta_{k1} \cdot \vec{j} + (z_i - z_k) + l_{xk} \cdot \cos \gamma_{k1} \cdot \vec{k}]\}\}$$

В третьей главе рассматриваются результаты практической реализации предлагаемой методики оценки выходных параметров точности ГИМ. Автоматизированная оценка выходных параметров точности ГИМ основана на экспериментально-расчетном методе определения параметров точности моделируемых единичных ГО II уровня. Исходной информацией, необходимой для расчетов по разработанной математической модели единичных ГО II уровня, являются экспериментальные данные о пространственных координатах ФТ элементов ГИМ.

Для реализации предлагаемого метода оценки на базе мини-ЭЦМ "Искра-226" создана автоматизированная экспериментальная установка (АЗУ), позволяющая проводить экспериментальные исследования, сбор и обработку поступающей информации, а также расчет, построение и оценку единичного ГО II уровня. Для проведения экспериментальных исследований и необходимых расчетов применялось специальное прикладное программное обеспечение и разработанная программа

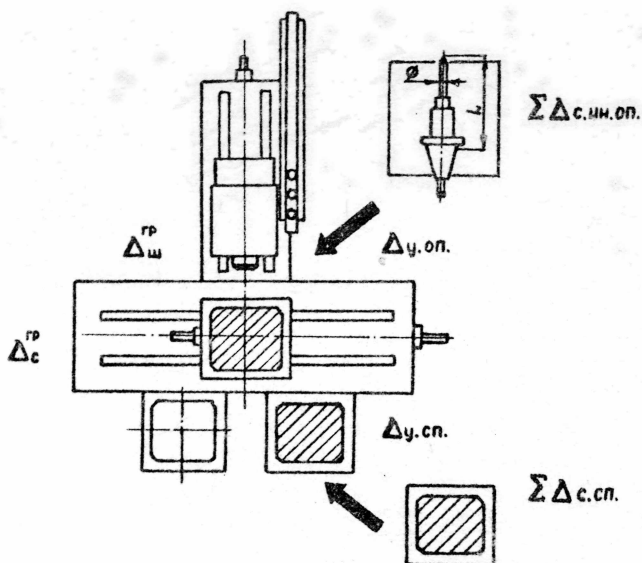


Рис. 1. Погрешности статической настройки ГИМ

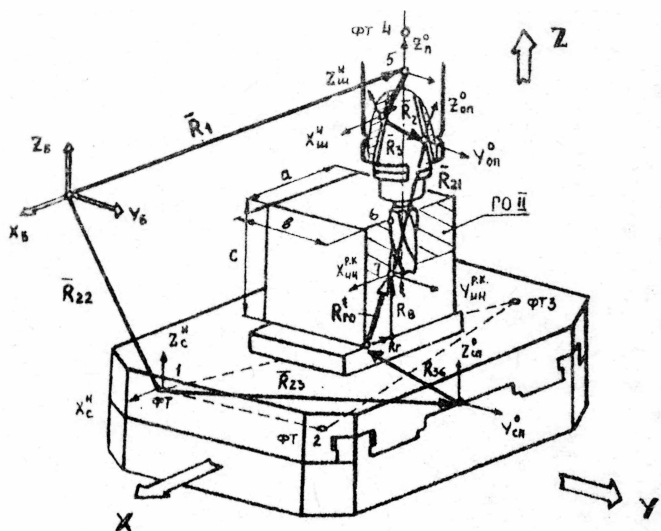


Рис. 2. Общая расчетная схема функционирования ГИМ

Экспериментальные исследования проводились на базе многоцелевого станка с ЧПУ мод.243 ВМЗ и гибкого производственного модуля мод.ИР-800, работающего в составе ГПС "Жальтирис". Учитывая специфику статической настройки ГПМ, разработана методика проведения экспериментальных исследований, состоящая из нескольких этапов. Для определения начальных геометрических погрешностей МС с ЧПУ Δ_{Σ}^P и Δ_{Σ}^R , погрешностей его тепловых деформаций, погрешности автоматической установки оправки в шпиндель станка $\Delta_{y,оп}$ использовались индуктивные контактные измерительные преобразователи (ИП) мод.223 завода "Калибр".

Т.к. получение информации о погрешностях проведения первого этапа статической настройки при помощи АЗУ является затруднительной, погрешности $\Sigma \Delta_{\Sigma,ин,оп}^P$, $\Sigma \Delta_{\Sigma,оп}$ определялись экспериментально-расчетным путем заранее, и их величины заносились в создаваемый банк данных мини-ЭВМ. Учитывая конструктивные особенности элементов собираемой оправки с инструментом, и возможность их различной установки при сборке, были определены максимально и минимально возможные величины радиального биения, возникающие на режущих кромках инструмента $\Sigma \Delta_{\Sigma,ин,оп}^P$. Исследование процесса сборки спутников позволило определить суммарную погрешность $\Sigma \Delta_{\Sigma,оп}$, характеризуемую тремя линейными и тремя угловыми смещениями. Указанная погрешность значительно проявляется в плоскостях YOZ ($\Sigma \Delta_{\Sigma,оп}^{Y(v)}$) и XOY ($\Sigma \Delta_{\Sigma,оп}^{X(v)}$).

Экспериментальные исследования погрешностей станка Δ_{Σ}^R позволили определить величины радиального биения и отклонения от перпендикулярности оси шпинделя в плоскостях XOZ ($\Delta_{\Sigma}^{X(v)}$) и YOZ ($\Delta_{\Sigma}^{Y(v)}$) в различных положениях рабочих органов, несущих инструмент. Измерения погрешностей станка Δ_{Σ}^R выявили величины отклонений от прямолинейности перемещения стола в плоскости XOY и отклонения от параллельности его рабочей плоскости относительно траектории перемещения по осям OX и OY .

При исследовании погрешности установки $\Delta_{y,оп}$ были определены диапазоны отклонений угловых смещений $\Delta_{y,оп}^{Y(v)}$ и $\Delta_{y,оп}^{X(v)}$ в зависимости от величины допуска, указываемого на угол конуса хвостовиков оправок ($AT_{\Sigma}/2 \pm 1'$). Исследования погрешности $\Delta_{y,оп}$ проводимые с рядом спутников при их автоматической смене на ГПМ, позволили определить, что она отмечается в направлении оси OY и в плоскостях XOY ($\Delta_{y,оп}^{X(v)}$) и YOZ ($\Delta_{y,оп}^{Y(v)}$). Усилие зажима спутника при его установке на столе станка оказывает значительное влияние (до 18мм), что требует проведения настройки спутников на настро-

ежных столах вне ГПМ в зажатом состоянии.

Учет вероятностного характера определяемых погрешностей проводился путем многократных замеров координат ФТ стола при перемещении рабочих органов по управляемым координатам, ФТ пиноли, ФТ шпинделя, ФТ оправок и спутника в различных положениях при различных условиях нагружения. Тепловое нагружение станка практически не оказывает существенного влияния на погрешность $\Delta_{y,оп}$ и вызывает смещение оси шпинделя в положительном направлении оси ОУ в среднем на 16 мм в течение первых 4-х часов работы ГПМ. Были получены уравнения аппроксимирующих функций координат ФТ рабочих органов ГПМ с инструментом в оправке и заготовкой на спутнике, являющиеся исходной информацией для построения ГО II уровня вертикальной поверхности.

Четвертая глава посвящена качественной и количественной оценке выходных параметров точности ГПМ и определению характера и доли влияния на получаемую погрешность обработки изделия погрешностей отдельных его элементов. Оценка выходных параметров точности ГПМ разработана на примере вертикальной поверхности, формируемой концевой фрезой при чистовом фрезеровании при перемещении стола вдоль координаты ОХ. Размеры моделируемых единичных ГО различных уровней определялись размерами обрабатываемой на ГПМ заготовки, установленной в приспособлении на спутнике (см. рис. 2).

Оценка влияния погрешностей станка $\Delta_{ш}^{р}$, $\Delta_{с}^{р}$ на выходные параметры точности ГПМ проводилась по параметрам точности моделируемого единичного ГО I уровня (рис. 3а). Отдельное влияние погрешностей собираемых и настраиваемых вне ГПМ оправок и спутников $\sum \Delta_{с.ин.оп}^{р}$, $\sum \Delta_{с.сп}^{р}$, погрешностей их автоматической установки в рабочую зону $\Delta_{y,оп}$, $\Delta_{y,сп}$ оценивалась по параметрам точности единичных ГО "промежуточного" уровня. "Промежуточный" единичный ГО также является отображением обрабатываемой на ГПМ поверхности изделия с учетом влияния погрешностей станка и погрешности конкретно оцениваемого элемента ГПМ (рис. 3б).

Расчет и построение единичного ГО I уровня, "промежуточных" ГО и ГО II уровня (рис. 3) обеспечивается работой программы "ДИАЛОГ-2", которая позволила получить аксонометрическое изображение ГО для проведения качественной оценки выходных параметров точности ГПМ, а также получать изображения профилей ГО в исследуемых сечениях для количественной оценки этих параметров. Построение ГО поверхности различных уровней позволил выявить и

и проанализировать динамику формирования погрешности обработки с учетом влияния на геометрические параметры точности обрабатываемой поверхности погрешностей отдельных элементов ГИМ.

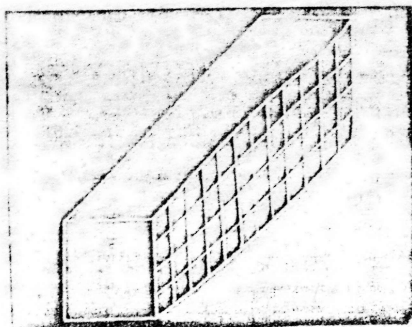
Анализ геометрических параметров точности моделируемых ГО вертикальной поверхности различных уровней показал разнообразный характер влияния участвующих погрешностей элементов ГИМ. Например, количественная оценка величины отклонения линейного размера данной поверхности в направлении оси ОУ показала, что при действии исследуемых погрешностей указанное отклонение составило: с учетом погрешностей только станка $\Delta_{\text{ст}}^{\text{гр}}$ и $\Delta_{\text{ст}}^{\text{р}}$ +7мкм; с учетом погрешностей станка и погрешности собранного спутника $\Sigma \Delta_{\text{с.сп}}$ -3мкм; станка и погрешности собранной и настроенной оправки $\Sigma \Delta_{\text{с.ин.оп}}$ -13мкм; станка и погрешности автоматической установки спутника $\Delta_{\text{у.сп}}$ +10мкм; погрешностей станка и погрешности автоматической установки оправки $\Delta_{\text{у.оп}}$ +18мкм.

Проведена количественная оценка единичного ГО II уровня, соответствующего указанной поверхности корпусного изделия, обрабатываемой концевой фрезой ϕ 50мм, вылетом 170мм (рис. 3в).

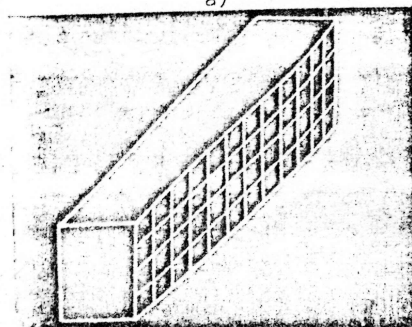
Для оценки величин наибольших допускаемых значений получаемых отклонений формы и расположения, величин предельных значений линейных размеров моделируемых поверхностей построены и исследованы ГО II уровня, формируемые с учетом погрешностей, величины которых соответствуют верхним (Δ)^в и нижним (Δ)^н границам диапазонов доверительных интервалов.

В пятой главе приведена инженерная методика автоматизированной оценки выходных параметров точности ГИМ, разработанная на основе предлагаемого метода, а также расчет ожидаемого экономического эффекта применения данной методики.

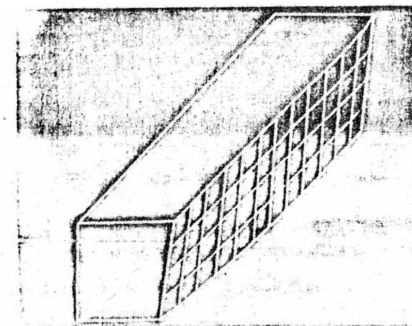
Применение инженерной методики позволяет проводить автоматизированную оценку точности ГИМ во всех зонах его рабочего объема, с учетом силового и теплового нагружения, что дает возможность на заводе-изготовителе ГИМ получать требуемые параметры точности обработки изделия и сохранять их в течение определенного периода эксплуатации. Применение указанной методики позволит снизить время испытаний за счет сокращения количества потребных проверок и длительности испытаний ГИМ. Позволит увеличить производительность труда за счет автоматизации процесса документирования результатов испытаний, а также сократить процент неправильно забракованных ГИМ. Процесс оценки точности конкретных ГИМ по инженерной методике на заводе/потребителе сводит-



а)



б)



в)

Рис. 3. Единицы ГО вертикальной поверхности:
а) I уровня; б) "промежуточного" уровня для оценки погрешности $\sum \Delta \epsilon_{\text{ин.оп}}$; в) II уровня.

ся к моделированию на ЭВМ параметров точности изготавливаемых изделий на основе разработанного программного обеспечения с учетом исходной информации, имеющейся в сертификате ГПМ. Это позволит снизить затраты потребителя за счет возможности не проводить оценку ГПМ изготовлением реального изделия, а также сокращает время внедрения технологического процесса за счет увеличения производительности труда технолога. Применение инженерной методики позволит внедрять рациональный с точки зрения достижения заданной точности обработки технологический процесс, путем определения точности обработки в различных местах объема ГПМ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих методов оценки выходных параметров точности МС с ЧПУ и построенных на их основе технологических систем (ТС) показал, что они во многих случаях не позволяют выявить долю участия и характер влияния на общую погрешность обработки изделия погрешностей отдельных элементов ТС. Поэтому, оценку выходных параметров точности гибкого производственного модуля (ГПМ), как ТС, предлагается проводить по параметрам точности моделей поверхностей обрабатываемого изделия, которые представляют единичные геометрические образы (ГО) поверхностей различных уровней: ГО I уровня, формируемые с учетом влияния погрешностей МС с ЧПУ и ГО II уровня - с учетом влияния погрешностей всех его элементов.

2. При исследовании процессов формирования погрешностей элементов ГПМ с учетом специфики проведения его статической настройки, на основе применения метода координатных систем с деформируемыми связями разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать радиусы-векторы $\vec{R}_{го,г}$, определяющие положение точек формируемой плоской поверхности при чистовом фрезеровании, являющейся единичным ГО II уровня. Данная модель позволяет учитывать начальные геометрические погрешности элементов ГПА, погрешности, возникающие в процессе его статической настройки, изменение этих погрешностей в процессе температурного нагружения МС с ЧПУ.

3. Разработана методика экспериментально-расчетного определения суммарной погрешности собираемой и настраиваемой вне ГПМ инструментальной оправки с режущим инструментом $\sum \Delta_{с.ин.оп}^c$. Рассчитаны границы диапазона величин радиального биения $\sum \Delta_{с.ин.оп}^c$ различных вариантов сборочных единиц, которые для ряда оправок с закрепленным в переходной втулке инструментом с коническим хвостовиком составляют -34...+44 мкм. При этом для отдельно со-

бранной оправки минимальная величина радиального биения равна 25мкм, а максимальная 55мкм.

4. Разработана методика экспериментально-расчетного определения суммарной погрешности собираемого и настраиваемого вне ГПМ спутника с установленной в приспособлении заготовкой $\Sigma \Delta c.cп.$, характеризуемой тремя линейными и тремя угловыми смещениями. Установлено, что указанная погрешность в значительной степени проявляется в угловых смещениях в плоскостях YOZ (до -16мкм на длине 70мм) и XOY (до -15мкм на длине 220мм). Величина линейного смещения в направлении координатной оси OY в среднем составляет -9мкм.

5. Для реализации предлагаемого метода оценки выходных параметров точности ГПМ на базе мини-ЭВМ "Искра-226" создана автоматизированная экспериментальная установка (АЗУ), позволяющая проводить экспериментальные исследования, сбор и обработку поступающей информации. Разработан алгоритм и на его основе программа расчета и построения ГО вертикальной поверхности II уровня для проведения качественной и количественной оценки выходных параметров точности ГПМ.

6. Проведен комплекс экспериментальных исследований, по результатам которых на основе разработанной математической модели, построены ГО I уровня, ГО "промежуточных" уровней и ГО II уровня, позволяющие выявить и проанализировать динамику формирования погрешности обработки с учетом влияния на геометрические параметры точности обрабатываемой вертикальной поверхности погрешностей отдельных элементов ГПМ.

7. Количественная оценка смоделированных ГО различных уровней показала: а) погрешности станка Δ_z^p и Δ_m^p определяют точность формы указанной поверхности (отклонение от прямолинейности профиля составляет до +7 мкм); б) погрешность $\Delta y.cп.$ приводит к увеличению величины отклонения линейного размера по оси OY , вызванного действием погрешностей станка, в среднем до + 10 мкм. А также приводит к увеличению величины отклонения от перпендикулярности в плоскости ZOY с - 12 до - 17 мкм на длине 70 мм и к увеличению величины отклонения от параллельности в плоскости XOY в среднем с + 3 до - 2 мкм на длине 220мм; в) действие погрешности $\Sigma \Delta c.cп.$ приводит к дальнейшему увеличению отклонения линейного размера по OY , которое может достигать + 30мкм. Указанная погрешность оказывает компенсирующее действие при формировании величины отклонения от перпендикуляр-

ности в плоскости YOZ , данная величина может уменьшаться до - 6 мкм, и значительным образом изменяет величину отклонения от параллельности в плоскости XOY , которая может составить около - 20 мкм на длине 220 мм; г) погрешность $\Delta y_{\text{оп}}$ также увеличивает отклонение линейного размера по OY , и величину отклонения от перпендикулярности в плоскости YOZ . Их величины могут достигать + 40 мкм и - 18 мкм на длине 70 мм; д) погрешность $\Sigma \Delta c_{\text{ин.оп}}$ может оказывать компенсирующее влияние на величину отклонения линейного размера, смещением поверхности в область отрицательного допуска с + 40 мкм до + 20 мкм, и на величину отклонения от перпендикулярности в плоскости YOZ с - 18 до + 7 мкм.

8. Оценка 1^{го} и 2^{го} уровня вертикальной поверхности показала, что для начального состояния работы ГПА, построенном на базе МС с ЧПУ класса В, при использовании комплекта вспомогательного инструмента и технологической оснастки, изготовленных по 6-7 качеству точности, при рассматриваемых схемах базирования элементов ГПА, гарантировано получение: отклонения профиля по 5 степени точности; отклонения линейных размеров по 8 качеству точности; отклонения взаимного расположения: в плоскости ZOY (отклонение от перпендикулярности) по 7 степени точности, в плоскости XOY (отклонение от параллельности) по 9 степени точности.

9. Разработана инженерная методика, позволяющая проводить автоматизированную оценку выходных параметров точности ГПА после их изготовления на заводе-изготовителе, а также в процессе практической эксплуатации данных ГПА на заводе-потребителе.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Надежность в технике. Программные испытания технологического оборудования. Общие требования: Методические рекомендации.- М.: ВНИИПАШ-МВТУ, 1988.- 99с.

2. Стародубов В.С., Мещерякова В.Б. К оценке выходных параметров точности гибких производственных модулей для обработки корпусных изделий // ИВУЗ. Машиностроение.- 1988.- № 9. - С.156-160.

3. Стародубов В.С., Мещерякова В.Б. Формирование и оценка параметров точности гибкого производственного модуля для обработки корпусных изделий // Автоматическое манипулирование объектами и технологическая оснастка в станках с ЧПУ и ГПА: Тез. докл. ВНК.- Тернополь, 1988.- С.34.

4. Стародубов В.С., Мещерякова В.Б. Особенности формирования точности обработки при использовании гибких производственных модулей // Совершенствование структуры и обновление парка оборудования в машиностроении: Тез.докл. Всесоюз. науч. семинара. - М., 1988. - С.65-74.

5. Стародубов В.С., Мещерякова В.Б. Формирование погрешностей настройки режущих инструментов на ГПМ // ИВУЗ. Машиностроение. - 1989. - № 1. - С.130-135.

6. Мещерякова В.Б. Оценка точности настройки спутников для ГПМ // Экспресс-информ. ВНИИТЭМР. Сер. I - Автоматизация производства, гибкие производственные системы и робототехника. - 1988. - Вып. 7. - С.12-15.

7. Мещерякова В.Б. Оценка точности установки спутников при их автоматической смене на ГПМ // Экспресс-информ. ВНИИТЭМР. Сер. I - Автоматизация производства, гибкие производственные системы и робототехника. - 1988. - Вып. 7. - С. 15-18.

