

М442 887
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

ТАРАСОВ Владимир Григорьевич

УДК 621.91:62-187

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ И ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НЕСУЩИХ СИСТЕМ
МЕТАЛЛОРЕЗУЩИХ СТАНКОВ

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
Чернянский П.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Земсков Г.Г.

- кандидат технических наук
Слипухов А.И.

Ведущее предприятие - Московский завод координатно-расточных
станков

Защита диссертации состоится "14" апреля 1986 г. в 14³⁰ час.
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Москов-
ском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва Б-5. 2-я Бауманская ул.. дом 5.

С дисс
им. Н.Э.Б
Ваш
печатью
Авто

МВТУ

енный

Ученый с
совета
к.т.н. д

Зак. 122

МН42884

100 экз.

Актуальность темы. Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1985–1990 гг. и на период до 2000 года предусмотрена широкая программа повышения технического уровня, точности, надежности и производительности металлорежущих станков. Повышение точности металлорежущих станков является одной из важнейших задач современного станкостроения. Погрешности обработки на станках зависят от многих факторов, приводящих к изменению заданного относительного положения инструмента и заготовки. К таким факторам относятся силовые и тепловые воздействия, вибрации, износ, геометрические и кинематические погрешности элементов станка, погрешности системы управления и т.д. Одной из наиболее важных причин появления погрешностей обработки являются относительные смещения инструмента и заготовки при силовых воздействиях на несущую систему станка или силовые смещения. С силовыми смещениями связано от 10% до 90% суммарной погрешности обработки.

Для оценки точности несущих систем станков при силовых воздействиях пользуются в основном экспериментальными методами, которые применимы только к уже спроектированным и изготовленным конструкциям. Существующие методики аналитической оценки точности несущих систем с учетом только упругих свойств их элементов не отражают реального процесса формирования показателей точности и не позволяют дать их достоверной оценки на стадии проектирования. Последнее возможно лишь при учете как пружин, так и неупругих характеристик элементов, реальных схем нагружения и рассеивания параметров несущих систем. Для создания новых станков с высокими точностными характеристиками необходимо применение научно обоснованных методик, позволяющих на стадии проектирования давать рекомендации по выбору параметров элементов, исходя из требований к точности станка в целом.

Таким образом, разработка методики расчета вероятностных показателей и повышения точности несущих систем металлорежущих станков с использованием метода статистической линеаризации – актуальная научная задача, направленная на повышение качества станков.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1442887

Тарасов В.Г. Вероятностный



442887

Цель работы. Разработка методики расчета вероятностных показателей и повышения точности несущих систем металлорежущих станков в функции силовых воздействий с использованием метода статистической линеаризации.

Методы исследований. Теоретические исследования проводились на базе методов теории упругости и сопротивления материалов, аналитической геометрии, теории вероятностей и математической статистики. Экспериментальные исследования выполнены на современных металлорежущих станках и стендах с применением современной измерительной аппаратуры. Расчеты и обработка экспериментальных данных проводилась с использованием ЭВМ ЕС-1020.

Научная новизна. Разработана инженерная методика расчета вероятностных показателей точности несущих систем металлорежущих станков в функции силовых воздействий с учетом упругих и неупругих характеристик элементов и реальных схем нагружения. В основу методики положен метод расчета показателей точности, предложенный П.М.Чернянским, в соответствии с которым несущая система может быть представлена в виде формализованной системы, состоящей из закономерной совокупности элементов упругого и неупругого сопротивлений – ЭУ и ЭТ.

Установлены аналитические зависимости, связывающие вероятностные показатели точности несущих систем и их элементов. Определены коэффициенты приведения смещений типовых элементов несущих систем. Оценено влияние схем нагружения на показатели точности несущих систем.

Методика проверена на типовых сборочных единицах станков – шпиндельных узлах и приводах подач рабочих органов с передаточными винт-гайка качения, а также на несущих системах станков. Установлена корреляционная связь поля рассеивания показателей точности с отклонением формы обработанных деталей.

Подтверждена адекватность теоретической модели и реальных вероятностных показателей точности в рабочем пространстве станков.

Практическая ценность. Предложенная методика расчета, расчетные схемы и разработанные программы для ЭВМ позволяют на стадии проектирования оценивать точность несущих систем при силовых воздействиях, давать рекомендации по выбору параметров элементов и повышению точности станков.

Реализация работы. Работа является частью научно-исследовательских работ выполненных на кафедре "Металлорежущие станки и автоматы" МВТУ им. Н. Э. Баумана. Методика оценки вероятностных показателей точности несущих систем станков в функции силовых воздействий, рекомендации по повышению точности станков и программы расчета типовых сборочных единиц станков внедрены на Владимирском производственном объединении "Техника".

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Всесоюзной научно-технической конференции "Динамика станков" июнь 1984 г., (Куйбышев), на научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и автоматы" МВТУ им. Н. Э. Баумана в 1982 - 1984 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 114 наименований, приложений; содержит 145 страниц машинописного текста, 76 рисунков, 9 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе выполнен анализ работ по исследованию точности металлорежущих станков, а также точности обработки. Рассмотрены факторы, влияющие на точность обработки и точность станков, основные методы их оценки, вероятностная природа точности станков,

В работах советских и зарубежных ученых Вотинова К. В., Балакшина В. С., Базрова Б. М., Дальского А. М., Корсакова В. С., Подураева В. Н., Проникова А. С., Решетова Д. Н., Ошица Х. и других указывается, что основным критерием, позволяющим оценить вклад в погрешности обработки того или иного компонента технологической системы является их влияние на величину относительных смещений инструмента и заготовки по нормали к обрабатываемой поверхности. Поэтому величина относительного силового смещения деталей, несущих инструмент и заготовку, принята в качестве показателя точности несущей системы станка.

Анализ показал, что достоверная оценка точности несущих систем при силовых воздействиях может быть дана лишь с учетом как упругих, так и неупругих характеристик элементов НС, реальных схем их нагружения, рассеивания параметров НС. В работах П.М.Чернянского впервые разработан метод оценки точности НС станков при силовых воздействиях на стадии проектирования. В основу метода положено теоретическое описание НС, представленной в виде формализованной системы, состоящей из закономерной совокупности элементов упругого и неупругого сопротивления трения - ЭУ и ЭТ. Были выделены основные типовые элементы НС, характеризующиеся: 1- нормальными смещениями в стыках, 2- тангенциальными смещениями в стыках, 3- собственными деформациями деталей, 4- смещениями сборочных единиц, предложены расчетные схемы и зависимости для определения их показателей точности, а также показателей точности НС. Был обоснован метод приведения показателей точности элементов НС.

Н.П.Дьяконовой были экспериментально определены вероятностные характеристики параметров типовых элементов, выполнены расчеты силовых смещений НС. Для расчетов вероятностных показателей силовых смещений применялся метод статистического моделирования (Монте-Карло) на ЭВМ. Однако для применения этого метода необходимо иметь данные о законах и параметрах распределений всех входящих в аналитические зависимости для силовых смещений величин. Такая информация в настоящее время практически отсутствует, как правило имеются данные для величин математических ожиданий и средних квадратических отклонений этих параметров. Кроме того применение метода статистического моделирования связано с разработкой сложных программ для ЭВМ. Таким образом этот метод малоприменим для инженерных расчетов показателей точности НС.

При расчетах конкретных конструкций НС не были учтены реальные схемы их нагружения: учитывалась нагрузка только из зоны резания и не принималась во внимание нагрузка со стороны привода. Не определялся вклад каждого элемента в величину показателя точности НС, не давались рекомендации по повышению точности, не определялись показатели точности в рабочих пространствах станков.

Приведенные данные и расчетные зависимости для типовых

элементов, сил трения, величин зазоров-натягов в соединениях позволяют сделать вывод о возможности и целесообразности аналитического расчета вероятностных показателей точности НС.

Вторая глава посвящена разработке методики расчета вероятностных показателей точности НС станков с использованием метода статистической линеаризации, алгоритмов выбора показателей точности элементов по заданным показателям точности НС.

Приведены основные положения метода расчета показателей точности НС, предложенного П.М.Чернянским, а также зависимости для определения показателей точности как для одной, так и для различных точек рабочего пространства станка. Приведены теоретические и эмпирические зависимости для определения показателей точности типовых элементов.

Показатели точности НС при силовых воздействиях определяются как

$$U_{нс} = \sum_{i=1}^n [P_{yi}(P) + \sum_{l=1}^K T_{yl}(P)] W_{yl}(P) U_{yi} + \sum_{i=1}^S Y_{pi} U_{yi} + \sum_{i=1}^m Y_{\Delta i} U_{yi}, \quad (1)$$

где P_{yi} - сила, действующая на i -тый элемент, W_{yi} - податливости элементов, T_{yi} - силы трения, Y_{pi} - пластические деформации в стыках, $Y_{\Delta i}$ - зазоры, U_{yi} - коэффициенты приведения смещений элементов к какой-либо точке рабочего пространства станка, в частности к точке приложения силы P . Величина жесткости $j_{нс}$ как чисто упругая характеристика может быть в общем случае определена по формуле

$$j_{нс} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{d}{dP} [P_{yi}(P) W_{yi}(P)] U_{yi} \right\}^{-1} \quad (2)$$

Для определения показателей точности типовых элементов НС используются эмпирические и теоретические зависимости. Для нормальных смещений использованы зависимости и данные для расчета, полученные Демкиным Н.Б., Левиной Э.М., Решетовым Д.Н., Рыжовым Э.В., Сусловым А.Г., Чихладзе Г.Е., Конноли Р. и другими. Для тангенциальных смещений и сил трения - формулы и данные Крагельского И.В., Михина Н.М., Максака В.И. и других.

Коэффициенты приведения U_{yi} определяются из рассмотрения задачи контактных смещений элементов НС в предположении недеформируемости самих деталей. При этом смещение каждого элемента

пересчитывается непосредственно к выбранной точке рабочего пространства станка. Погрешность такого способа приведения для наиболее распространенных случаев нагружения элементов не превышает 1% по сравнению с точным, при котором объем вычислений значительно увеличивается.

Получены зависимости для расчета коэффициентов приведения для элементов типа плоских стыков, наиболее часто встречающихся при расчетах показателей точности и жесткости НС.

Для определения вероятностных показателей точности НС использован метод статистической линеаризации функций случайных величин. В качестве последних приняты величины, характеризующие смещения типовых элементов НС. Для зависимости (I) это величины P_{yi} , W_{yi} , T_{yi} , U_{pi} , U_{di} , в свою очередь являющиеся функциями случайных величин и определяющиеся тем же методом.

Суть метода заключается в том, что зависимость полученная из физических соображений разлагается в ряд Тейлора, к которому затем применяются основные теоремы теории вероятностей для определения вероятностных характеристик.

Так как показатели точности $Y_{нс}$ представляют собой суммы большого числа независимых случайных величин, то на основании центральной предельной теоремы, можно утверждать, что распределение $Y_{нс}$ близко к нормальному. Это подтверждается многочисленными экспериментами, проведенными различными авторами. Поэтому в качестве вероятностных показателей точности $Y_{нс}$ могут быть приняты математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение - M_y и σ_y .

На основании зависимости (I) и изложенного метода статистической линеаризации получено

$$\begin{aligned}
 M_y &= \sum_{i=1}^n (M_{y_i} + \sum_{l=1}^k M_{T_{yl}}) M_{W_{yl}} U_{yl} + \sum_{l=1}^s M_{U_{pl}} U_{yl} + \sum_{l=1}^m M_{U_{dl}} U_{yl}, \\
 \sigma_y &= \left\{ \sum_{i=1}^n [M_{W_{yi}}^2 (\sigma_{P_{yi}}^2 + \sigma_{T_{yi}}^2) + (M_{P_{yi}} + \sum_{l=1}^k M_{T_{yl}})^2 \sigma_{P_{yi}}^2 + \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{l=1}^k \sigma_{T_{yl}}^2 \sigma_{W_{yl}}^2] U_{yi}^2 + \sum_{l=1}^s \sigma_{U_{pl}}^2 U_{yl}^2 + \sum_{l=1}^m \sigma_{U_{dl}}^2 U_{yl}^2 \right\}^{1/2} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Аналогичные зависимости получены для определения вероятностных показателей точности типовых элементов НС.

При расчетах вероятностных показателей точности НС учитываются все основные конструктивные и технологические характеристики элементов: геометрические размеры, площади, материалы, наличие смазки, параметры макро- и микрогеометрии контактирующих поверхностей, величины зазоров-натягов в соединениях, а также рассеивания этих характеристик.

Рассмотрена задача нормирования показателей точности элементов, заключающаяся в определении полей допуска для показателей точности каждого элемента по заданному полю допуска для НС. Это имеет большое значение для выбора параметров элементов НС на стадии проектирования. Предложен алгоритм решения этой задачи методом пробных расчетов, а также рассмотрены другие способы.

В третьей главе проведен анализ схем нагружения несущих систем станков, определены показатели точности для каждой из них и их экспериментальная проверка.

Отмечается, что схема измерений, принятая ГОСТ для оценки жесткости металлорежущих станков как точности под нагрузкой, реализуется далеко не всегда. Так, рабочие органы станков, имеющие приводы подач, нагружаются сначала со стороны привода, а затем из зоны резания. Это не учитывается при экспериментальных проверках и аналитических расчетах жесткости и точности несущих систем станков.

П.М.Чернянским была разработана общая классификация схем нагружения несущих систем станков. В соответствии с классификацией НС станков могут быть представлены в виде двух подсистем - $НС_1$ и $НС_2$, несущих инструмент и заготовку соответственно. Если $НС_2$ представляет собой шпиндельный узел, то она является цепью "без привода", так как крутильные деформации практически не влияют на точность НС. Подсистема $НС_1$ является цепью "с приводом".

В качестве самостоятельных выделены следующие схемы /по наиболее часто встречающимся схемам обработки/: позиционирование, продольная подача, радиальная подача, прямая и обратная подача, бескоординатная обработка.

Для схемы позиционирования точность характеризуется величиной отклонения значения действительного положения рабочего органа от заданного и равна величине силового смещения в цепи

при нагрузке со стороны привода.

Для схемы продольной подачи: HC_2 нагружается из зоны резания; HC_1 нагружается сначала со стороны привода, происходит установочное перемещение рабочего органа, а затем HC_1 нагружается и разгружается из зоны резания. Характеристики точности обработки формируются при $P = P_{max}$.

Для схемы радиальной подачи: HC_2 нагружается из зоны резания, HC_1 нагружается приводом. Возникающая сила резания имеет характер реакции на воздействие со стороны привода. Разгрузка происходит из зоны резания. Характеристики точности обработки формируются при $P = 0$.

Для схемы прямой подачи нагружение происходит аналогично радиальной. При обратной подаче происходит изменение направлений всех сил на противоположные. При этом проявляются все остаточные смещения, зазоры, что является причиной потери точности. Характеристики точности обработки для этой схемы формируются при $P = P_{max}$.

Схема бескоординатной обработки реализуется на протяжных станках и станках тангенциальной обработки. Для таких станков подача не приводит к нагружению HC со стороны привода. HC_1 и HC_2 нагружаются из зоны резания.

Для анализа HC в целом для каждой схемы нагружения был использован принцип независимости действия сил, при этом вероятностные показатели точности определялись по зависимостям

$$\begin{aligned} M_{unc} &= M_{unc1} + M_{unc2}, \\ \sigma_{unc} &= (\sigma_{unc1}^2 + \sigma_{unc2}^2)^{1/2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Анализ схем нагружения был проведен на примере однородных структурных схем, состоящих из типовых ЭУ и ЭТ.

Приведены зависимости для расчета HC станков с учетом анализа схем нагружения.

С целью экспериментальной проверки аналитических соотношений, полученных для различных схем нагружения было проведено моделирование на специальном стенде. Стенд позволяет моделировать упругие и неупругие свойства HC станков, давая возможность исследовать влияние упругих и неупругих смещений на показатели точности.

Моделирование схем нагружения на стенде показало хорошее соответствие аналитических и экспериментальных результатов, их отличие не превышает 10%.

Экспериментально подтверждено, что показатели точности для различных схем отличаются в 1,5-4 раза. Эти отличия объясняются как величиной силовой нагрузки, при которой формируется точность обработки, так и влиянием сил трения в стыках.

На станках 6Р11Ф5С и 16К20-3С5 проводилось нагружение НС из зоны резания и со стороны привода. Отличие результатов для этих двух схем составило 60-70%, что подтверждает результаты моделирования на стенде.

Четвертая глава посвящена расчету и экспериментальной проверке показателей точности типовых сборочных единиц станков - приводов подач с передачами винт-гайка качения /ВГК/ и шпиндельных узлов. Приведены конкретные примеры повышения точности типовых сборочных единиц путем соответствующего выбора параметров их элементов.

Методика расчета приводов подач рабочих органов /РО/ с передачами ВГК рассмотрена на примере привода подач стола станка 2Е450АМФ4.

В соответствии с анализом конструкций приводов подач выделены 4 основных звена, показатели точности которых влияют на показатели точности привода в целом. К этим звеньям отнесены: винт, передача ВГК с корпусом, опоры винта, крепление корпуса передачи ВГК к РО.

Составлена структурная схема и приведены основные расчетные зависимости для элементов привода подач.

Расчет был реализован в виде программы, составленной на языке ФОРТРАН-IV для ЭВМ ЕС-1020. Программа позволяет рассчитывать вероятностные показатели точности приводов M_y и b_y при заданных параметрах элементов для каждого значения силы P . На печать выдаются значения вероятностных показателей точности как для привода в целом, так и для его элементов. Строятся графические зависимости $M_y(P)$, диаграммы балансов для показателей точности по элементам привода.

Для привода подач стола станка 2Е450АМФ4 при следующих основных расчетных данных: длина винта 1200 мм, диаметр винта

50 мм, шаг винта 10 мм, диаметр шариков передачи ВК 6 мм, общее число шариков - 156, шероховатость контактирующих поверхностей $Ra = 0,5$ -1 мкм. Расчетные и экспериментальные результаты при $P = 5$ кН приведены в таблице.

Таблица

		ВК-корпус	Винт	Опора	Крепление к РО	Привод
РАСЧЕТ	My_i , мкм	9,6	9	42,4	13,3	74,3
	$My_i / My \cdot 100\%$	13	12	57	18	100
ЭКСПЕР.	My_i , мкм	12	9	13	40	85
	$My_i / My \cdot 100\%$	14,5	10,5	62,5	12,5	100
$\frac{My_i^p - My_i^3}{My^3} \cdot 100\%$		20	0	16	21	13

Повышение точности привода надо начинать с повышения точности самых слабых в балансе показателей элементов. Например, при увеличении затяжки стыка крепления корпуса ВК к РО и снижении шероховатости четырех наиболее слабых элементов с $Ra = 1$ мкм до $Ra = 0,5$ мкм величины показателей точности могут быть снижены с $My = 74,3$ мкм и $\Delta y = 5,8$ мкм до $My = 45,4$ мкм и $\Delta y = 2,9$ мкм. На рис.1 показана зависимость показателей точности привода от шероховатости контактирующих поверхностей его элементов

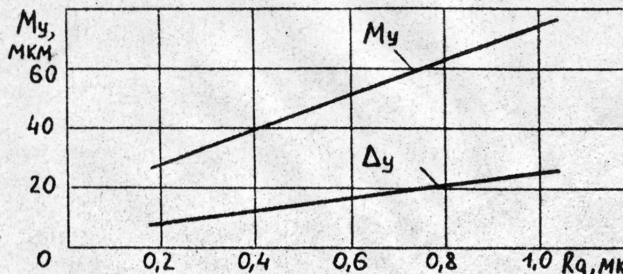


Рис.1. Влияние шероховатости элементов на показатели точности

При изменении шероховатости элементов от $Ra = 1$ мкм до $Ra = 0,2$ мкм точность привода может быть повышена в 2-3 раза.

Установлено, что влияние сил неупругого сопротивления в элементах привода на показатели точности велико. Несоответствие между расчетными величинами M_u при расчете с учетом неупругих смещений и чисто упругой составляющей достигает 91%.

Получены расчетные зависимости при нагружении РО как из зоны резания, так и со стороны привода, что дает возможность определить показатели точности при различных схемах нагружения.

Расчетная схема шпиндельных узлов составлена с учетом влияния как радиальных, так и упорных подшипников. Основные расчетные зависимости получены методом начальных параметров. Разработана программа расчета показателей точности шпиндельных узлов на подшипниках качения для ЭВМ ЕС-1020 на языке ОРТРАН-IV.

Экспериментальная проверка расчетов для шпиндельных узлов станков ЕТ-50 и МС 12-250 показало их хорошее соответствие, погрешность не превышает 25%. Повышение точности шпиндельных узлов осуществляется путем снижения величин показателей точности его элементов. Так, для шпиндельного узла станка ЕТ-50 снижение шероховатости посадочных поверхностей с $Ra = 0,63$ мкм до $Ra = 0,32$ мкм и увеличение диаметра шпинделя со 100 мм до 110 мм дает повышение точности на 57%.

Приведены результаты экспериментальной оценки показателей точности шпиндельных узлов станков ЕТ-50, 16К20, МС 12-250, приводов подач станков 16К20, 2Е450АМ34, систем стол-шпиндель станка 6Р1113С и ЛБ-325. Экспериментальные результаты обрабатывались статистически согласно существующим ГОСТам. Результаты обработки представлены в виде математических ожиданий, средних квадратов их отклонений и доверительных интервалов для них при уровне значимости 0,05.

В пятой главе приведены результаты расчета и экспериментальной оценки вероятностных показателей точности в рабочем пространстве станков.

С целью количественной оценки величины изменения и рассеивания показателей точности несущих систем в рабочем пространстве станков были проведены эксперименты на станках 16К20 и МС 12-250.

Для станка 16К20 измерения показателей точности проводились

при различных положениях суппорта на направляющих. Силовое нагружение создавалось и измерялось динамометром с тензодатчиком, смещения измерялись электронной системой мод. 212 завода "Калибр". Измеряемые силы и относительные смещения инструмента и заготовки записывались на светочувствительную бумагу осциллографа Н-115.

Для многоцелевого станка фрезерно-расточной группы МС 12-250 определяли показатели точности системы шпиндель-стол, а также отдельных узлов станка, в различных точках рабочего пространства.

Изменение показателей точности в рабочих пространствах исследованных станков, оцениваемое по величине $(M_{ymin}/M_{ymax}) \cdot 100\%$ достигает 50-70%, коэффициент вариации равен 0,05-0,19.

Проведенный расчет вероятностных показателей точности НС в рабочем пространстве станка МС 12-250 по разработанной методике дал хорошее соответствие расчетных и экспериментальных результатов. / погрешность не более 30%. Расчетная и экспериментальная зависимости изменения и рассеивания показателей точности приведены на рис. 2.

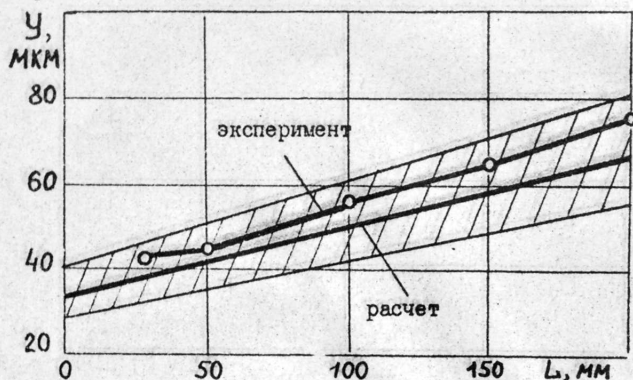


Рис. 2. Изменение и рассеивание показателей точности станка МС 12-250 / L - вылет шпиндельной головки/

Полученные результаты дают возможность прогнозирования влияния величины показателей точности на точность обработки деталей. С целью количественной оценки влияния рассеивания показателей точности на отклонения формы обрабатываемых деталей были проведены эксперименты на станке МС 12-250.

Было экспериментально оценено рассеивание показателей точности по углу поворота шпиндельного узла системы расточная оправка-стол станка. В результате статистической обработки получили величины математического ожидания M_y , среднего квадратического отклонения σ_y и поле рассеивания показателей точности $\Delta y = 6\sigma_y$. Проведенная проверка на однородность и соответствие теоретическим законам распределения по критериям Колмогорова-Смирнова и Пирсона показала хорошее соответствие распределения показателей точности нормальному закону. Экспериментальные значения показателей точности $M_y = 80$ мкм, $\sigma_y = 3,6$ мкм, $\Delta y = 22$ мкм.

На том же станке при силе резания $P = 0,5$ кН и режимах $v = 1,07$ м/с / $n = 11,8$ с⁻¹ / $S = 3,18$ мм/с, $t = 0,5$ мм проведено растачивание 9-ти отверстий $\phi = 33,2$ мм. На кругломере завода "Калибр" модели 290 были получены круглограммы отверстий. По результатам измерений $\Delta = 25$ мкм.

Установлена корреляционная связь между полем рассеивания показателей точности по углу поворота шпиндельного узла и отклонением формы расточенных отверстий. Коэффициент корреляции близок к единице и равен для отдельных реализаций 0,86-0,92.

ВЫВОДЫ

1. Для достоверной оценки точности в условиях силового нагружения необходимо учитывать как упругие, так и неупругие свойства элементов, реальные схемы нагружения и рассеивание параметров несущих систем /НС/. В качестве вероятностных показателей точности могут быть приняты математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение величины относительных смещений деталей, несущих инструмент и заготовку.

2. Разработана методика расчета вероятностных показателей и повышения точности НС при силовых воздействиях с использованием метода статистической линейаризации. Расчет базируется на методе оценки показателей точности в функции физических свойств конструкции, предложенном П.М. Чернянским, в соответствии с которым НС может быть представлена в виде формализованной систе-

мы, состоящей из элементов упругого и неупругого сопротивления - ЭУ и ЭТ.

3. При расчетах показателей учитываются все основные конструктивные и технологические характеристики НС: геометрические размеры, площади, материалы, параметры микро- и макрогеометрии контактирующих поверхностей, величины зазоров-натягов в соединениях и их рассеивания.

4. Анализ схем нагружения показал, что их показатели точности отличаются в 1,5 - 4 раза. Это объясняется как последовательностью нагружения и разгружения, так и влиянием сил неупругого сопротивления /трения/ в элементах НС. Для оценки точности рекомендуется пользоваться зависимостями, полученными для каждой из схем. Влияние схемы нагружения на показатели точности подтверждено моделированием на специальном стенде и экспериментами на станках 16K20T3C5 и 6P11T3C.

5. Для расчетов используется приближенный метод приведения смещений элементов НС, погрешность которого по сравнению с точным не превышает 1%. Получены зависимости для коэффициентов приведения типовых элементов, составлена таблица для наиболее распространенных случаев нагружения.

6. Разработан алгоритм решения задачи расчета показателей точности элементов конструкции по заданным значениям показателей точности несущей системы.

7. Разработаны программы расчета на ЭЕМ ЕС-1020 типовых сборочных единиц станков - приводов подач рабочих органов с передачами винт-гайка качения и шпиндельных узлов.

8. На основании проведенных расчетов даны рекомендации по повышению точности конкретных конструкций типовых сборочных единиц. Ожидаемое повышение точности - в 2-3 раза.

9. Методика позволяет проводить расчеты для различных точек рабочего пространства станков. В пределах рабочего пространства станков 16K20 и MC 12-250 изменение показателей точности достигает 50-70%, коэффициенты их вариации - 0,05-0,19.

10. На примере шпиндельного узла станка MC 12-250 установлена регрессионная зависимость между полем рассеивания показателей точности и отклонением формы обработанных на станке деталей. Коэффициент корреляции близок к единице и равен для отдельных реализаций 0,86-0,92.

II. Экспериментальные исследования подтвердили адекватность теоретической модели и реальных вероятностных показателей точности в рабочем пространстве станков, ошибка не превышает 25-30%.

12. Основные результаты диссертации - методика расчета вероятностных показателей и повышения точности несущих систем станков, программы расчета типовых сборочных единиц внедрены на Владимирском производственном объединении "Техника" с годовым экономическим эффектом 3200 руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Локтев В.И., Тарасов В.Г. Вероятностные характеристики податливости шпиндельных узлов. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1983, №1, с.158-159.

2. Локтев В.И., Тарасов В.Г. Анализ расчетных схем для определения податливости шпиндельных узлов. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1983, №2, с.150-152.

3. Чернянский П.М., Тарасов В.Г. Оптимальные условия работы упругодеформирующих устройств. - Вестник машиностроения, 1983, №11, с.12-14.

4. Тарасов В.Г. Рассеивание жесткости в рабочем пространстве станков. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1984, №9, с.141-144.

5. Чернянский П.М., Дьяконова Н.П., Тарасов В.Г. Типовые элементы металлорежущих станков. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1985, №5, с.146-151.

Григорьев

