

М87103

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БАЛАНЧ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРИОДА ПРИРАБОТКИ НАПРАВЛЯЮЩИХ
СКОЛЬЖЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ
(на примере станков токарной группы)

05.03.01 - Процессы механической и физико-технической
обработки, станки и инструмент

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
ДИССЕРТАЦИИ НА СОискание ученой степени
кандидата технических наук

от балч

Москва-1992

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники России Проников А.О.

Научный консультант - к.т.н., доцент Утенков В.М.

Официальные опоненты - д.т.н., проф. Нахапетян Е.Г.

к.т.н., доцент Авдеев В.Б.

Ведущее предприятие - НПО "ТЕХНОМАШ"

Защита диссертации состоится "24" декабря 1992 г. в час. на заседании специализированного Совета К 053.15.15 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5.

Наш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу.

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

Автореферат разослан "

Ученый секретарь
специализированного Со
канд. тех. наук, доцент

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз

Заказ № 546

М87103

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Одной из важнейших проблем современного машиностроения, является проблема обеспечения точности и надежности металлообрабатывающего оборудования.

Основное влияние на потерю точности перемещения суппортного узла оказывает процесс изнашивания его базовых деталей - направляющих. Неравномерность изнашивания направляющих по длине, приводит к изменению траектории движения суппортного узла которая определяет точность обработки.

Исследование начального периода эксплуатации станка (периода приработки), когда происходит наиболее интенсивное и, как правило, нелинейное ухудшение его функциональных параметров, позволит на основе оценки физических процессов протекающих в станке, осуществить прогноз сохранения его технологической надежности.

Данные прогнозирования могут быть использованы на стадии проектирования для выбора оптимального конструктивного исполнения станка, а на стадии эксплуатации - для разработки оптимальной (с точки зрения долговечности станка) технологии обработки и последовательности партий обрабатываемых деталей в зависимости от требуемой точности, а также для организации системы ремонта и ТО. Поэтому, задача исследования периода приработки направляющих скольжения для прогнозирования потери точности станка, является актуальной и направлена на практическую реализацию общей теории надежности машин в плане повышения качества и надежности суппортной группы.

Диссертация выполнялась в рамках научно-технической программы "Надежность", утвержденной АН от 07.05.87 г.

Цель работы. Разработка инженерной методики прогнозирования изменения точности станка, на основе имитационного моделирования на ЭВМ, с учетом процесса приработки направляющих скольжения, предусматривающей возможность оценки параметрической надежности станка, находящегося в реальных условиях заводской эксплуатации, а также вероятностной оценки периода приработки.

Методы исследования. В работе применены теоретические и экспериментальные исследования. Теоретические исследования проведены на основе положений теории надежности машин, теории вероятности и математической статистики, расчетов на трение и изнашивание, также использованы теория и методы расчета металорежущих станков, мате-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1087103

Баланич А. М. Прогнозирова



математического анализа, методы численного интегрирования. Математическое моделирование исследуемых в работе процессов проводилось на персональных компьютерах типа IBM PC/XT/AT. Правильность основных положений предлагаемой в работе методики прогнозирования проверена при экспериментальных исследованиях образцов на машине трения, а также в условиях заводской эксплуатации токарных полуавтоматов модели СТП-220 АП. Экспериментальные исследования проводились с помощью современной прецизионной аппаратуры. В частности, для исследования протекания процесса изнашивания и определения формы сопрягаемых поверхностей использовалась измерительно-компьютерная система "TALYSURF-6", а для оценки траектории движения суппорта станка - испытательно-измерительный комплекс на базе фотоэлектрического автоколлиматора АФ-III

Научная новизна.

1. Разработана математическая модель контактирования сопрягаемых поверхностей с учетом их топографии при нецентральной приложении внешней нагрузки.

2. На основе имитационного моделирования на ЭВМ, разработана математическая модель процесса изнашивания поверхностей и расчета их формы с учетом неравномерности эпюры давления.

3. Разработана математическая модель изменения траектории вершины резца с учетом неравномерности зон контакта и формы изношенных контактирующих поверхностей.

4. Разработана методика прогнозирования изменения точности станка с учетом периода макроприработки сопрягаемых поверхностей.

Практическая ценность. Предлагаемый методический подход к решению задачи прогнозирования потери точности токарного станка с учетом неравномерности изнашивания его направляющих в период приработки, позволяет уже на этапе проектирования и изготовления опытных образцов новых моделей станков определить влияние процесса изнашивания направляющих на показатели параметрической надежности и, следовательно, оценить, с этой точки зрения, совершенство конструктивного исполнения исследуемых станков. Его применение позволяет наиболее рационально использовать потенциальную долговечность станков в результате правильного построения системы их ремонта и эксплуатации, дает возможность определить наиболее эффективные пути повышения параметрической надежности токарных станков.

Реализация работы. Результаты исследования использованы при выполнении трех научно-исследовательских работ.

Результаты работы приняты к внедрению на ПО "Станкостроитель" г. Павлоград и использованы при разработке новых моделей станков.

Экономический эффект от внедрения методики и других мероприятий разработанных на основе настоящего исследования составил 11.200 рублей (по уровню цен на начало 1991 г.)

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научных семинарах кафедры "Прецизионные станочные модули" МГТУ им. Баумана в 1989 - 1992 гг., на научном семинаре технологов-конструкторов ПО "Станкостроитель" г. Павлоград в 1990г.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в трех работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения (основных результатов и общих выводов), списка литературы и приложений, изложенных на 226 страницах. Содержит 136 страниц основного текста, 74 рисунков, 2 таблицы, 5 приложения и список литературы из 98 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, отмечена научная новизна, практическая ценность данных исследований.

В первой главе дается обзор литературы. Рассматривается вопрос о роли процесса приработки в обеспечении точности станка. Макро-приработка, превалируя по времени над микроприработкой, является основной причиной интенсивного изнашивания деталей машин и быстрого ухудшения функциональных параметров в начале эксплуатации станка. В процессе приработки давление в местах контакта поверхностей значительно превышает расчетные значения и процесс изнашивания протекает более интенсивно. Первый период протекания износа сопряжений машины, как правило, характеризуется его нелинейным изменением во времени. Соответственно нелинейный характер будет иметь и изменение во времени выходного точности станка, что необходимо учитывать при расчете и прогнозировании надежности.

Отмечено, что, согласно общей теории параметрической надежности машин, методика прогнозирования процесса потери точности металлорежущих станков должна основываться на раскрытие закономерности явлений, приводящих к потере станком работоспособности и имеющих стохастическую природу.

Одним методический подход к оценке параметрической надежности машин на основе учета закономерности физических процессов, действующих при их эксплуатации и изменяющих выходные параметры точности предложен проф. А.С. Прониковым. В главе проанализированы основные положения данного научного направления применительно к задаче исследования. Сделан вывод о том, что прогнозирование потери точности металлорежущих станков связано с возможностью отыскания закономерности изменения параметров точности станка с учетом многообразия условий его эксплуатации.

Проанализирован современный уровень развития расчетных методов оценки износа трущихся сопряжений, определяемый в значительной мере результатами исследований Н.В. Крагельского, Б.И. Костешко, М.М. Хрушова и др. Отмечено, что природу процесса изнашивания направляющих металлорежущих станков определяет усталостное и абразивное изнашивание, для которых справедливо соотношение

$$U = K \cdot S \cdot P \quad (1)$$

где U - линейный износ, K - коэффициент износа направляющих, P - номинальное давление в зоне контакта, S - путь трения.

На основе указанной зависимости А.С. Прониковым разработаны формулы для оценки формы изношенных поверхностей направляющих металлорежущих станков, имеющие вид

$$U(x) = K_1 \cdot S \cdot \int_{\ell_1}^{\ell_2} \varphi(x-\ell) \cdot f(\ell) d\ell, \quad (2)$$

$$U(\ell) = K_2 \cdot S \cdot f(\ell), \quad (3)$$

где $U(x)$ - линейный износ направляющих станины, $U(\ell)$ - линейный износ направляющих подвижного рабочего органа, $f(\ell)$ - уравнение эпюры давления в направляющих, $\varphi(x-\ell)$ - кривая распределения общего пути трения, ℓ_1 и ℓ_2 - пределы интегрирования, соответствующие различным участкам направляющих станины.

В работе отмечено, что одним из самых перспективных методов определения формы изношенных поверхностей направляющих металлорежущих станков является метод моделирования процесса изнашивания на ЭВМ.

Метод имитационного моделирования основывается на возможностях современных ЭВМ по хранению и переработке информации. При этом, определение формы изношенной поверхности определяется путем нако-

пления приращения износа в фиксированных точках направляющих, находящихся на достаточно малом расстоянии друг от друга.

В результате приведенного обзора сделан вывод о том, что общая цель исследования - разработка методики прогнозирования потери точности токарных станков при износе направляющих с учетом процесса их приработки, определяет необходимость решения следующих задач:

- разработать математическую модель процесса контактирования направляющих с учетом формы и топографии поверхностей;

- разработать математическую модель процесса изнашивания направляющих с учетом процесса приработки;

- разработать математическую модель процесса изменения траектории движения суппорта в процессе изнашивания направляющих в период их приработки;

- сформировать базу данных на основе эксплуатационных исследований и технологии изготовления направляющих скольжения;

- проверить адекватность разработанных математических моделей результатам экспериментальных исследований;

- разработать методику и провести контрольные испытания (на примере станка СТП-220АП) в заводских и лабораторных условиях;

- используя полученные экспериментальные данные, дать прогноз потери станком точности вследствие изнашивания его направляющих с учетом их приработки.

Во второй главе разработана методика прогнозирования изменения точности станка на основе имитационного моделирования процесса изнашивания направляющих с учетом их макроприработки.

Методика нахождения траектории движения вершины резца при перемещении суппорта по станине, предполагает расчет износа направляющих и определение формы изношенной поверхности при установившейся износе. Учитывая, что в период приработки: 1) поверхности трения имеют не обязательно прямолинейную форму; 2) соприкасающиеся пары находятся в контакте в отдельных зонах а не по всей поверхности трения; 3) эпюра контактных напряжений в процессе перемещения подвижного элемента изменяется; 4) эпюра контактных напряжений в процессе изнашивания меняется во времени; 5) коэффициент износа не является постоянным, он зависит от большого числа факторов и имеет вероятностную природу, появляется необходимость дальнейшего развития методов расчета формы изношенной поверхности направляющих. Для этого необходимо разрабатывать новые математические модели,

учитывающие условия прохождения процесса изнашивания в период их приработки.

Логическая последовательность этапов моделирования процессов при прогнозировании потери точности станков при износе направляющих скольжения в общем виде выполняется следующим образом:

1. Задается форма поверхности направляющих "нового" станка методом статистического моделирования функций F_c и F_k для всех граней направляющих (F_k - функция формы направляющих суппорта, F_c - функция формы направляющих станины).

2. Определяются зоны наиболее вероятного начального касания в направляющих (для каждого из положений подвижного суппорта относительно неподвижных направляющих станины). Зона наиболее вероятного начального касания определяется при действии на суппорте только силы веса.

3. Определяется эпюра давлений в направляющих. Ввиду необходимости раскрытия статической неопределимости этот этап разделяется на следующие подэтапы:

3.1 расчет по уравнениям статики величин реакций во всех гранях направляющих и тяговой силы от привода подачи станка согласно методике разработанной проф. Решетовым Н.Д.

3.2 оценка соотношения между реактивными моментами, возникающими в различных гранях направляющих, воспринимающих опрокидывающий момент относительно оси X. При этом моделируется реакция направляющих на единичный момент $m = 1$.

3.3 расчет по уравнениям статики координат приложения суммарных реакций во всех гранях направляющих.

3.4 поиск "области внедрения" направляющих подвижного органа относительно направляющих станины, при которой выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^n z_i = A \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n z_i \cdot Z_i = A \cdot Z_A \quad (5)$$

где z_i - сила реакции возникающая в i-ом элементе контактирующей поверхности; Z_i - координата приложения силы z_i ; A - внешняя сила действующая в направляющей; Z_A - координата приложения внешней силы.

При этом методом итерации определяется опускание суппорта δ и его пространственный поворот β при которых выполняются оба указанных равенства. При моделировании предполагается, что суппорт

является жестким телом и не подвержен иным деформациям, кроме тех, которые происходят в стыке его направляющих.

Реакции в направляющих Z_i оцениваются по методике разработанной Решетовым Н.Д. и Левинной З.М. на каждом элементарном участке, имеющем условно постоянное давление на всем его протяжении. Абсолютные величины каждой из элементарных реакций Z_i пропорционально контактному внедрению δ_i .

4. Определяется износ направляющих в зонах контакта при имитационном моделировании движения суппорта по направляющим станины. При этом используются рекомендации Проникова А.С., методика разработанная доп. Утенковым В.М. и результаты исследований приведенных в данной работе на образцах с помощью машины трения.

5. Определяется траектория суппорта, отнесенная к вершине реза и ее изменение в результате износа профиля направляющих суппорта и станины.

6. Осуществляется прогнозирование потери точности станка на основе статистического моделирования условий работы трущихся поверхностей направляющих.

Далее в работе дано подробное описание каждого из перечисленных этапов моделирования.

В главе указан алгоритм решения математической модели контактного взаимодействия направляющих с учетом их топографии.

При создании алгоритма программы, позволяющей решать указанную задачу было использовано известное положение о том, что оценка эпюры давления с учетом смещения внешней силы от центра симметрии становится возможным если представить, что при условии контакта по всей длине стыка внедрение контактирующих тел имеет вид трапеции. При этом смещение внешней силы A от центра симметрии стыка на величину Z_A приводит к эпюре контактного сближения со следующими параметрами

$$\left. \begin{aligned} \delta_{min} &= \delta_0 (1 - 6 Z_A / l_0) \\ \delta_{max} &= \delta_0 (1 + 6 Z_A / l_0) \\ t g \lambda &= 12 Z_A / l_0 \\ \delta_0 &= C \cdot G^{0,5} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где λ - угол наклона эпюры контактного сближения.

δ_0 - контактное внедрение при идеально плоском стыке.

C - коэффициент зависящий от вида обработки и шероховатости контактирующих поверхностей.

Предлагаемая методика моделирования контактного взаимодействия направляющих металлорежущих станков предусматривает отказ от интегрального оценивания глубины контактного внедрения и основывается на использовании процедуры, близкой к численным методам.

Методика моделирования процесса изнашивания направляющих, на основе которой разработана соответствующая программа, основана на объединении возможностей имитационного и статистического моделирования на ЭВМ.

В работе приведен алгоритм имитационного моделирования на ЭВМ процесса изнашивания направляющих. При имитационном моделировании применен принцип приближенного решения задачи интегрирования. При этом учитывается возможность расчета износа направляющих при сколь угодно сложном характере изменения эпюры давления на пути движения рабочего органа по станине с единственным требованием неизменности эпюры давления на элементарном шаге h моделирования. При этом, в практических расчетах использовали шаг моделирования $h = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

Разработанная математическая модель контактирования поверхностей дает возможность определить наиболее вероятные зоны контакта направляющих, с учетом их отклонения от прямолинейности, для любого положения суппорта при его перемещении по станине. В работе разработан алгоритм позволяющий рассчитывать изменение траектории вершины резца при износе направляющих металлорежущего станка с учетом возможности определения наиболее вероятных зон контакта.

В диссертации разработана также методика формирования базы исходных данных. Отмечено, что прогнозирование процесса изменения точности металлорежущих станков предусматривает необходимость расчета гистограмм распределения ряда параметров, характеризующих условия реальной заводской эксплуатации станков исследуемой модели. Необходимые сведения о распределении перечисленных исходных параметров могут быть получены из сферы производства и эксплуатации металлорежущих станков исследуемой модели. Даны конкретные примеры составления гистограмм распределения различных параметров. Разработана методика задания формы направляющих скольжения с учетом их топографии. В главе представлены рекомендации по синтезу гистограмм распределения различных параметров, а также указаны основные этапы

прогнозирования потери точности станка вследствие изнашивания направляющих с учетом периода приработки.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям. Отмечено, что для проверки возможности применения предлагаемых математических моделей процесса контактирования и износа направляющих металлорежущих станков с учетом взаимовлияния процессов, происходящих в различных гранях, проведены экспериментальные исследования на образцах. Экспериментальные исследования проводились на машине трения. Стенд предусматривает возможность изменения в широких пределах зоны приложения нагружающего усилия, что позволяло изменять эпюру давления в направляющих и перераспределять давление между различными гранями. Образцы изготавливались из серого чугуна СЧ21 40 и стали 7ХГ2ВМ. Верхний образец имеет II-образную форму, нижний образец - форму параллелепипеда. Размеры образцов соответствуют в масштабе уменьшенным размерам суппортного узла станка модели СТП-220 АП. Ширина контактирующих поверхностей образцов равна 5 мм.

При их изготовлении предусматривалось наличие отклонения от прямолинейности профиля, характерные для направляющих скольжения металлорежущих станков. Поверхности образцов перед испытанием притирались до чистоты также соответствующей обычному состоянию направляющих станков.

Целью лабораторных исследований явилась проверка соответствия расчетных моделей контактирования и изнашивания сопрягаемых поверхностей экспериментальным данным. Для этого, снимались профилограммы контактирующих поверхностей образцов до процесса изнашивания. Затем образцы устанавливались на столе машины трения и осуществлялось возвратно поступательное движение, аналогично работе суппортного узла токарного станка. При этом фиксировались условия работы пары трения: сила действующая на верхний образец, точка ее приложения, скорость относительного перемещения, путь трения, условия смазки и т.д. После фиксированного периода работы пары трения определяли новый профиль трущихся поверхностей образцов. Сравнивая результаты измерения после износа с первоначальными, могли определяли изменение формы изнашивающихся поверхностей в результате износа.

Одновременно учитывая конкретные условия работы пары трения и первоначальные формы контактирующих поверхностей образцов,

определяли расчетным путем по разработанным моделям величину износа и формы вновь образовавшихся поверхностей.

Сопоставляя данные полученные расчетным путем с экспериментальными, сделан вывод об адекватности разработанных математических моделей.

Для измерения отклонения от прямолинейности реального профиля и шероховатости образцов использовалась компьютеро-измерительная система "TALYSURF-6". Фирмы "Rank Taylor Hobson" (Великобритания). В работе дано подробное описание испытательным средствам и измерительной аппаратуре.

Эксперименты проводились с тремя парами трения при различном положении нагружающего усилия относительно центра симметрии ползуна (меньшего из образцов). Для каждого образца было выполнено по 6 измерений формы направляющих. При этом были получены результаты, аналогичные тем, которые показаны на рис. 1.

В соответствии с условиями работы каждой пары трения осуществлялось математическое моделирование процесса изнашивания направляющих станины и ползуна на ЭВМ. При этом использовалась методика приведенная выше. На рис. 2 приведены результаты, полученные при экспериментальном исследовании, расчете выполненном по формулам (2) и (3) и моделировании процесса изнашивания направляющих станины. Проведенные исследования показали, что имитационное моделирование по указанному алгоритму, по сравнению с результатами расчетов по общепринятой методике, приводит к формам более близким к результатам экспериментов.

Методом физико-статистического моделирования определено математическое ожидание коэффициентов изнашивания новой пары трения для материалов направляющих станины (Сталь 7ХГ2ВМ) и каретки (серый чугун СЧ21-10) станка СТП-220 АП. Получили следующие результаты:

$$K_c = 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ мПа}^{-1}; \quad K_k = 0,0645 \cdot 10^{-8} \text{ мПа}^{-1}$$

При этом, средние квадратические отклонения равны:

$$\sigma_{Kc} = 0,045 \cdot 10^{-8} \text{ мПа}; \quad \sigma_{Kk} = 0,18 \cdot 10^{-9} \text{ мПа}^{-1}$$

Четвертая глава посвящена прогнозированию и производственным испытаниям потери точности металлорежущих станков в производственных условиях.

Для экспериментальной проверки и апробации разработанных положений по прогнозированию потери точности токарных станков при износе направляющих с учетом периода их приработки был выбран современный токарный полуавтомат, класса точности II, с наклонным

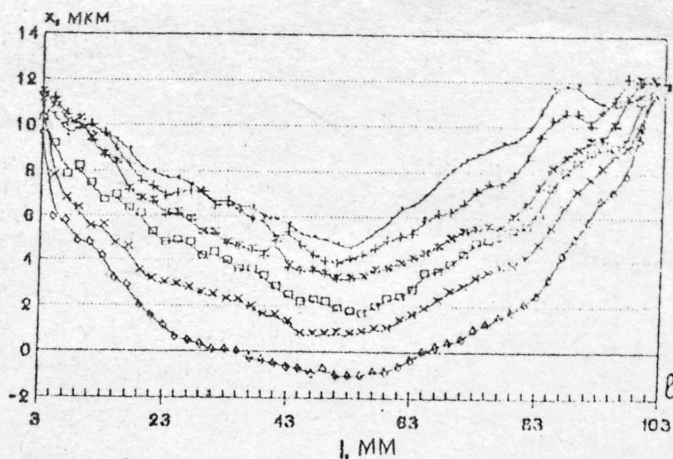


рис.1 Результаты исследования процесса изнашивания направляющих станины образца N°1 (грань А)

... - форма направляющей до проведения испытаний

+ - путь трения $S_{тр}=300$ м; * - $S_{тр}=600$ м;

□ - $S_{тр}=900$ м; X - $S_{тр}=1200$ м; ◇ - $S_{тр}=1500$ м.

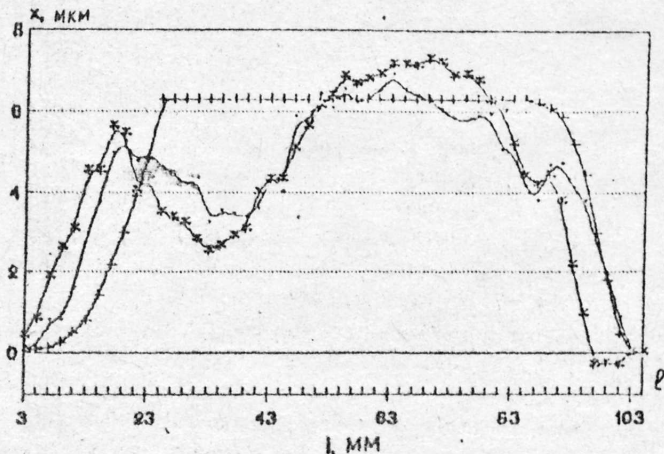


рис.2 Сравнительные результаты эксперимента, расчета и моделирования на ЭВМ процесса изнашивания направляющей станины образца N°2 (грань А, $S_{тр}=1500$ м)

... - результаты эксперимента; + - результаты расчетов по формуле (1); * - результаты моделирования

направляющий под углом 60° , станок модели СТП-220 АП. Эксперименты проводились в заводских условиях на ПО "Станкостроитель" г. Павлоград. Для проведения исследований по измерению траекторий перемещения рабочих органов станка был использован автоматизированный измерительный комплекс, разработанный на кафедре "Прецизионные станочные модули" МГТУ им Баумана, структурная схема которого показана на рис. 3. Автоматизированный комплекс для автоколлимационных измерений был построен на базе персонального компьютера, измерительного интерфейса DAS-16 и автоколлиматора АФ-1П по мостовому принципу. Данный комплекс позволяет проводить измерения отклонений от прямолинейности траекторий движения рабочих органов станков.

Измерения параметров траекторий суппортной группы станка СТП-220 АП на заводе изготовителя, проводились для станков с заводскими номерами 002, 003, 100, 459 в течение 1,5 лет. Измерения выполнялись на длине хода суппорта $L=400$ мм. Расчет траекторий движения суппорта и параметров этих траекторий проводился в среде табличного процессора LOTUS 1-2-3.

В работе приведены результаты экспериментального исследования в виде графиков аналогично рис. 4. Вместе с результатами эксперимента на рисунке приведены результаты математического моделирования на ЭВМ процесса изнашивания направляющих и изменения по этой причине траектории движения вершины резца. При этом моделирование выполнялось в соответствии с изложенными ранее методиками для условий, максимально приближенных к условиям эксплуатации исследуемых станков (в промежутки времени между измерениями параметров траекторий суппортов осуществлялся сбор данных о номенклатуре и количестве обрабатываемых на исследуемых станках деталей).

По совокупности приведенных в данной главе результатов, сделан вывод о достаточно высокой степени приближения экспериментальных данных к результатам моделирования и, следовательно, о возможности применения разработанной методики математического моделирования процесса изменения траектории движения рабочих органов металлорежущих станков при износе направляющих скольжения.

На основе программного обеспечения разработанного по приведенным выше алгоритмам было выполнено прогнозирование

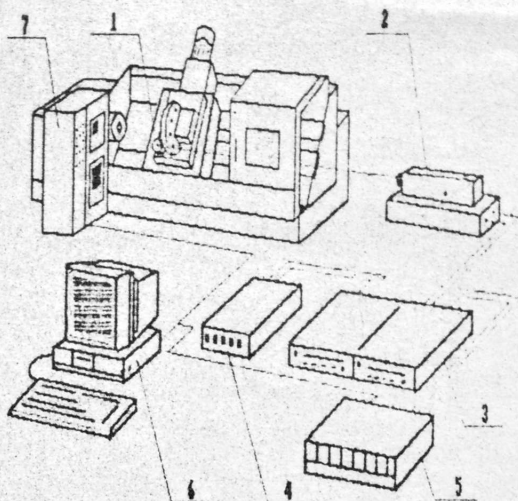


рис. 1 Структурная схема автоматизированной установки на базе автокордината А4-10

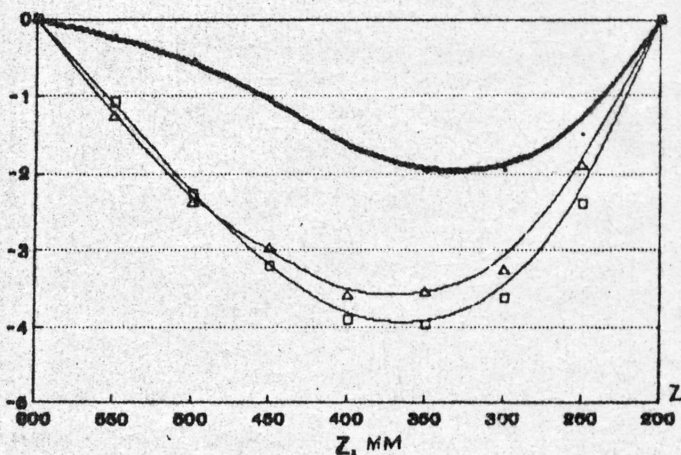


рис. 2 Изменение отклонения от прямолинейности траектории вершины резца станка N 003 в заводских условиях (с 11.89 по 03.91 гг.)

- - результат первого измерения;
- - результаты эксперимента;
- Δ - результаты моделирования.

потери точности при износе направляющих станка модели СТП-220 АП.

В результате прогнозирования потери точности станков в условиях заводской эксплуатации установлено, что исследуемые станки имеют высокие показатели точности по параметру отклонения траектории от прямолинейности (коэффициент запаса точности для всех станков был не ниже 1,4). Определен средний ресурс и оценено его возможное рассеивание в зависимости от условий эксплуатации станков.

Расчетным путем, по разрабатываемой методике, были определены значения периода приработки направляющих скольжения станка СТП-220 АП с учетом условий их эксплуатации. Установлен период макроприработки направляющих от трех до пяти лет.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика прогнозирования изменения траектории движения суппорта токарного станка предусматривает статистическое и имитационное моделирование на ЭВМ процессов контактирования и изнашивания направляющих. Данная методика позволяет рассчитать форму изношенной поверхности, траекторию движения вершины резца, производить прогнозирование потери точности металлорежущего станка с учетом периода макроприработки его направляющих.

2. Разработаны алгоритмы, которые позволяют осуществить:

- моделирование процесса контактирования сопрягаемых поверхностей с учетом их топографии при нецентральной приложении внешней силы;

- имитационное моделирование на ЭВМ процесса изнашивания поверхностей и расчета формы изношенных поверхностей с учетом неравномерности эпюры давления;

- моделирование изменения траектории вершины резца с учетом неравномерности зон контакта и формы изношенных контактирующих поверхностей;

- прогнозирование потери точности станка с учетом периода приработки сопрягаемых поверхностей.

3. По разработанным алгоритмам выполнены расчеты траектории движения суппорта станка модели СТП-220 АП с учетом конкретных условий его эксплуатации, а также проведено прогнозирование потери точности указанного станка с учетом периода приработки направляющих скольжения. Кроме того, проведены расчеты по определению формы изношенных поверхностей образцов, контактирующие поверхности ко

торых имели различные выды отклонения от прямолинейности и подвергались процессу изнашивания в лабораторных условиях на машине трения.

4. Проведенное лабораторное исследование процесса изнашивания и формы изношенной поверхности образцов подтвердило целесообразность применения разработанной математической модели расчета приработки трущихся поступательных пар.

Методом физико-статистического моделирования определено математическое ожидание коэффициентов изнашивания материалов для пары трения направляющих станка СТП-220 АП из стали 7ХГ2ВМ для станины $K_c = 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ МПа}^{-1}$ и чугуна СЧ21-40 для суппорта $K_k = 0,645 \cdot 10^{-9} \text{ МПа}^{-1}$ и законы распределения их величины применительно к условиям работы направляющих станка (с 95% доверительным вероятностью - закон нормальный). Среднее квадратическое отклонение соответственно равно:

$$\sigma_{K_c} = 0,45 \cdot 10^{-9} \text{ МПа}^{-1}; \sigma_{K_k} = 0,18 \cdot 10^{-9} \text{ МПа}^{-1}$$

5. Проведены экспериментальные исследования станка СТП-220АП в ПО "Станкостроитель" г. Павлоград с целью определения траектории движения суппорта и изменение параметров траекторий во времени для исследования потери точности указанного станка с учетом конкретных условий его эксплуатации.

Проверено соответствие экспериментальных результатов и результатов моделирования изменения траектории движения вершины резца, что подтвердило правильность предлагаемых математических моделей.

Установлено, что разработанная математическая модель изнашивания направляющих скольжения металлорежущих станков, учитывающая приработку сопряжения, позволяет более достоверно, по сравнению с существующими методами, прогнозировать потери станком точности в заданных условиях эксплуатации.

6. Для повышения достоверности результатов экспериментальных исследований протекания процесса изнашивания и определения формы сопрягаемых поверхностей использовалась современная прецизионная аппаратура, в том числе измерительно-компьютерная система "TAU-SURF-6" с погрешностью измерения не более 0,5 мкм, а для оценки траектории движения вершины резца закрепленном на суппорте в производственных условиях был использован автоматизированный измерительный комплекс на базе автоколлиматора АФ-1Ц, персонального компьютера и измерительного интерфейса DAS-16.

7. В результате проведенных работ были созданы пакеты прикладных программ по моделированию процессов контактирования,

нашивания направляющих и изменения траектории перемещения суппорта станка с учетом неравномерности контактирования поверхностей в период приработки направляющих скользящих. Программы могут быть использованы на стадии проектирования новых образцов станков для определения параметров конструкции суппортного узла с целью увеличения его ресурса по точности.

8. Результаты диссертации были использованы при выполнении трех научно - исследовательских работ. Экономический эффект от внедрения методики и других мероприятий, разработанных на основе настоящего исследования составил 11200 рублей подтвержденный документом и расчетами (по уровню цен на начало 1991 года).

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Утенков В.М., Спиренков Н.П., Баланич А.М. Исследование суппортной группы станка СП-220 АП с помощью фотоэлектрического автоколлиматора //Технология: Науч.-техн. сб./ЦНТИ "Поиск". 1990. С. 52-61 (Сер. Технология машиностроения; вып.4).

2. Разработка и создание испытательно-диагностического комплекса для автоматизированной оценки качества и надежности станков и станочных модулей методом программных испытаний.

Книга 6. Разработка программы прогнозирования изменения направляющих и системы автоматизированной оценки параметров линейной траектории на основе автоколлиматора. Отчет о НИР (заключительный). /МГТУ им. Баумана. каф. МТ-1. Руководитель темы Проников А.С. Шифр темы АО 163-87. N'ГР У46389; инв. N' Е75129. -М.: 1989. -144 с.

3. Разработка и внедрение автоматизированной системы оценки качества и диагностики станков токарно фрезерной группы: Отчет о НИР (заключительный). /МГТУ им. Баумана. каф. МТ-1. Рук. темы Проников А.С. - Шифр темы ТЗ.2-02. N'ГР 0190015731; инв. N' 10455. -М.. 1990. - 80 с.