

М383301

НА ДОМ  
НЕ ВЫДАЕТСЯ

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

УТЕНКОВ Владимир Михайлович

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕРИ ТОЧНОСТИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ  
ПРИ ИЗНОСЕ НАПРАВЛЯЮЩИХ  
НА БАЗЕ УСКОРЕННОГО ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ

Специальность 05.03.01

Процессы и машины обработки материалов резанием;  
автоматические линии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Москва - 1981

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

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники  
РСФСР, доктор технических наук,  
профессор  
А.С.ПРОНИКОВ

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
Е.Г.НАХАПЕТАН  
  
кандидат технических наук,  
доцент О.Ф.ПОЛТАВЕЦ

Ведущее предприятие - Рязанский станкозавод

Защита диссертации состоит  
на заседании специализированного  
ученого совета МВТУ им. Н.Э.  
адресу: 107005, Москва, Б-

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

Ваши отзывы на автореферат  
печатью, просим направлять:

Автореферат разослан "\_\_\_"

Ученый секретарь Совета  
к.т.н., доцент

4383 30P

---

Д-105541 от 31.08.81 г. Од  
Ротепринт МВТУ. 107005, Моск

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для токарных станков, в силу их конструктивного исполнения и условий эксплуатации, влияние износа направляющих на выходные параметры точности имеет существенное значение. При этом, важно уже на стадии испытания опытных образцов оценить возможные пределы скорости изнашивания направляющих станка и определить, на их основе, ожидаемые показатели параметрической надёжности. Это, во-первых, даст критерии оценки совершенства конструктивного решения новых моделей токарных станков и, во-вторых, позволит наиболее рационально использовать потенциальную долговечность станков в результате правильного построения системы их ремонта и эксплуатации. Таким образом, тема работы является актуальной, так как тесно связана с проблемой создания высоконадёжного технологического оборудования, отнесённой XXVI Съездом КПСС к числу важнейших проблем машиностроения XI пятилетки.

Цель исследования. Разработка методики прогнозирования потери точности токарных станков при износе направляющих, предусматривающей возможность оценки параметрической надёжности станков, находящихся в реальных условиях заводской эксплуатации на базе результатов ускоренного испытания опытных образцов.

Методы исследования. В работе применены теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретические исследования базируются на научных основах теории надёжности машин. Использован аппарат теории вероятностей и математической статистики. Математическое моделирование исследуемых в работе процессов основывается на применении ЭВМ серии ЕС и алгоритмического языка Фортран IV. Правомомерность основных положений предлагаемой в работе методики прогнозирования проверена при экспериментальных исследованиях в лабораторных и производственных условиях токарного станка с ЧПУ модели I6K20Ф3С5. Экспериментальные исследования проводились с помощью специально спроектированных и изготовленных устройств с использованием современной измерительной аппаратуры.

Научная новизна. Разработана методика прогнозирования потери точности токарных станков при износе направляющих на базе ускоренного испытания опытных образцов, предусматривающая статисти-

НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1383301

Утенков В. М. Прогнозировани

МВТУ  
им. Н. Э. Баумана  
БИБЛИОТЕКА

ческое моделирование процесса изнашивания направляющих и изменения, при этом, траектории движения суппорта. Методика позволяет учитывать характерное для эксплуатации токарных станков рассеивание параметров эпюры давления в направляющих вследствие изменяющихся при точении деталей вектора силы резания и положения суппорта на поперечных направляющих.

Разработаны рекомендации по учёту процесса прирабатываемости трущихся поверхностей направляющих при износе, что даёт возможность на 15% повысить точность расчёта эпюры износа направляющих, выполненного по общепринятой методике.

Практическая ценность. Предлагаемый методический подход к решению задачи прогнозирования потери точности токарных станков позволяет уже на этапе испытания опытных образцов новых моделей токарных станков определить влияние процесса изнашивания направляющих на показатели параметрической надёжности и, следовательно, оценить, с этой точки зрения, совершенство конструктивного исполнения исследуемых станков. Его применение позволяет, так же наиболее рационально использовать потенциальную долговечность станков в результате правильного построения системы их ремонта и эксплуатации, даёт возможность определить наиболее эффективные пути повышения параметрической надёжности токарных станков.

Реализация работы. Результаты исследования использованы при выполнении трёх научно-исследовательских работ, годовой экономический эффект от внедрения которых составил 53000 руб., при ожидаемом эффекте 70000 руб.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения материалов диссертации в промышленности составляет 35000 руб.

Апробация работы. Результаты исследования доложены и обсуждены на У Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов, управление качеством в машиностроении и приборостроении" (Москва, 1979 г.), на VII научно-технической конференции молодых учёных и специалистов производственного объединения ЗИЛ (Москва, 1979 г.), на научно-технической конференции "Повышение эффективности использования технологического оборудования с программным управлением" (Пенза, 1980 г.). Полностью работа доложена на кафедре "Станки и автоматы механосборочного производства" ИВТУ им. Н.Э. Баумана (1981 г.).

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 3 печатных работах.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы и приложений, изложенных на 202 страницах. Содержит 106 страниц основного текста, 57 рисунков, 7 таблиц, распечатку 2 программ для ЭВМ и список литературы из 100 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе "Обзор литературы по проблеме прогнозирования потери точности металлорежущих станков при износе направляющих, формулировка цели и задач работы" приведён анализ исследований по указанной тематике. Отмечено, что, согласно общей теории параметрической надёжности машин, методика прогнозирования процесса потери точности металлорежущих станков должна основываться на раскрытии закономерности явлений, приводящих к потери станком работоспособности и имеющих стохастическую природу.

Общий методический подход к оценке параметрической надёжности машин на основе учёта закономерности физических процессов, действующих при их эксплуатации и изменяющих выходные параметры точности предложен 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 уровня группирования параметров точности станка с учётом многообразия условий его эксплуатации. Приведён анализ методов отыскания указанной закономерности. Отмечено, что при испытании опытного образца металлорежущего станка появляется возможность получения информации, отражающей ход процесса потери точности применительно конкретным условиям испытания. Эта информация является необходимой для решения задачи прогнозирования, т.к. на её основе возможно проверить адекватности реального процесса и его математической модели. В то же время, указана необходимость разработки специальной методики, позволяющей осуществлять пересчёт результатов испытания к реальным условиям заводской эксплуатации станков. В основе подобной методики должны лежать расчётные методы и моделирование процесса изнашивания направляющих и изменения траектории движения рабочего органа.

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

$$U = K \cdot p_n \cdot S, \quad (1)$$

где  $U$  - линейный износ,  $K$  - коэффициент износа направляющих,  $p_n$  - 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

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

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

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,  $\ell_1$  и  $\ell_2$  - пределы интегрирования, соответствующие различным участкам направляющих станины.

Приведённые зависимости были использованы при исследовании процесса изнашивания направляющих станков в работах И.С.Геретько, Б.М.Дмитриева, Г.В.Смолянкина, М.М.Шиферсона и др. Отмечено, что в указанных работах уравнение эпюры давления в направляющих было определено для некоторых усреднённых условий нагружения станков. При этом, не учитывалось непрерывное изменение усилия резания, характерное для эксплуатации станков и, следовательно, расчёт параметров эпюры давления в направляющих. Отмечено, что при прогнозировании потери точности токарных станков при износе направляющих, для которых влияние усилия резания на эпюру давления в направляющих соизмеримо с влиянием веса суппорта, данное обстоятельство имеет большое значение и должно быть учтено в расчётах.

В главе представлен, так же, анализ современных расчётных методов оценки изменения траектории движения рабочих органов металлорежущих станков при износе направляющих. Отмечено, что задача определения влияния износа направляющих станков на изменение зон контакта в направляющих и траекторию движения подвижного рабоче-

го органа допускает в инженерных расчётах представление процесса взаимодействия изношенных поверхностей направляющих по схеме относительного скольжения математических кривых, описывающих форму эспирн износа.

В результате проведённого обзора сделан вывод о том, что общая цель исследования – разработка методики прогнозирования потери точности токарных станков при износе направляющих, определяет необходимость решения в процессе работы следующих задач:

1. Разработать структуру исследования токарных станков для прогнозирования изменения точности при износе направляющих.

2. Разработать методические основы математического моделирования на ЭВМ процесса потери точности станка при износе направляющих, позволяющего на основе результатов ускоренного испытания опытного образца прогнозировать ход процесса потери точности в реальных условиях заводской эксплуатации.

3. Проверить степень адекватности разработанных в соответствии с предлагаемой методикой математических моделей экспериментально исследованному процессу потери точности токарного станка при износе направляющих.

4. Для токарного станка, находящегося в условиях заводской эксплуатации, дать прогноз процесса потери точности при износе направляющих.

5. Определить закономерности протекания процесса потери точности станка исследуемой модели при различных типовых условиях проведения ускоренного испытания, на основе чего сформулировать основные положения методики проведения ускоренного испытания токарных станков.

6. Разработать рекомендации о путях повышения параметрической надёжности исследуемых станков.

Во второй главе "Методика прогнозирования потери точности токарных станков при износе направляющих на базе ускоренных испытаний опытных образцов" отмечено, что структура исследований, которые должны быть проведены для прогнозирования влияния износа направляющих токарных станков на точность обработки, предусматривает единство следующих компонентов исследования – ускоренного испытания опытных образцов под нагрузочным устройством, физического моделирования узла трения в направляющих на машине трения и математического моделирования процесса изменения геометрической точности станка при износе направляющих. При этом, задачами

ускоренного испытания опытных образцов в структуре исследования являются: определение показателей надёжности к моменту начала испытания, выявление зоны экстремальных реализаций процесса изменения геометрической точности при износе направляющих, определение коэффициента износа направляющих, подтверждение адекватности математической модели реальному процессу изменения геометрической точности.

На этапе физического моделирования узла трения направляющих на машине трения определяется закон распределения коэффициента износа направляющих.

Отмечено, что в процессе исследования необходимым является анализ условий эксплуатации станков, на основе которого рассчитываются гистограммы распределения характеристик условий эксплуатации, определяющих износ направляющих. Для токарных станков в качестве таких характеристик рекомендуется использование: а - гистограммы распределения параметров эпюры давления в направляющих (угол наклона эпюры давления, давление у края суппорта), б - гистограммы распределения координат начала и конца хода суппорта, в - гистограммы распределения коэффициента износа направляющих, г - гистограммы распределения пути трения в направляющих суппорта за 2-х месячный период эксплуатации токарного станка.

В главе представлены рекомендации по синтезу перечисленных гистограмм, при этом, использована методика Д.Н. Решетова по расчёту реакций в направляющих токарных станков и координат их приложения.

Для того, чтобы распределение генерируемых случайных чисел подчинялось заданному закону распределения, рекомендуется выполнение следующих операций:

- гистограммы распределения характеристик процесса изнашивания направляющих, представляющие собой относительные частоты попадания параметров в заданные интервалы  $f(\Pi)$ , преобразуются к виду эмпирической функции распределения  $F(\Pi)$ ;

- после обращения к стандартной подпрограмме выработки равномерно распределённого в интервале от 0 до 1 случайного числа  $P_j$ , вводится масштабный коэффициент пересчёта  $F_j = F_{\max} \cdot P_j$ . При этом, значение  $F_j$  всегда окажется в интервале от 0 до  $F_{\max}$ ;

- в зависимости от положения числа  $F_j$  на сетке  $F(\Pi)$ , ему в соответствие ставится значение  $\Pi_j$ . При этом, вероятность появле-

ния числа  $\Pi_j$  в серии случайных реализаций будет соответствовать относительной частоте попадания в интервал, определяющийся уровнем  $f(\Pi_j)$ .

Иллюстрации к данному разделу методики прогнозирования вместе с иллюстрациями и расчётными схемами ко всем остальным разделам представлены на рис. I.

Для каждой случайной реализации процесса изнашивания направляющих, характеризуемой определёнными значениями генерируемых характеристик, приращение износа в точках станины  $\Delta U_{cx}$  и суппорта  $\Delta U_{nx}$  определяется по следующим зависимостям

$$\Delta U_{cx} = K_1 \cdot \int_{SN}^{SK} [PM + \psi(X-S)] \cdot dS, \quad (4)$$

$$\Delta U_{nx} = K_2 \cdot (PM + \psi \cdot \ell) \cdot (SK - SN). \quad (5)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  — коэффициенты износа направляющих,  $PM$  — давление у правого края суппорта,  $\psi$  — угол наклона эпюры давления,  $SN$  и  $SK$  — координаты начала и конца хода суппорта на направляющих станины,  $S$  — параметр положения суппорта на направляющих станины,  $X$  — координата точек направляющих станины,  $\ell$  — координата точек направляющих суппорта.

При моделировании процесса изнашивания направляющих на ЭВМ, появляется возможность учёта прирабатываемости трущихся поверхностей при износе. В главе изложена методика, согласно которой, по мере нарастания общего пути трения в направляющих, с определённым периодом, корректируется форма изношенных поверхностей направляющих суппорта и станины. При этом, коррекция происходит только тогда, когда при относительном скольжении математических кривых формы изношенных поверхностей направляющих суппорта и станины, между ними образуется "зазор"  $H_{max}$ , превышающий глубину контактного внедрения поверхностей  $\delta$ . Текущее значение износа в каждой точке  $X$  суппорта и станины изменяется на величину  $\Delta U_x$ , рассчитываемую по формуле

$$\Delta U_x = \left( H_x - \frac{H_{max}}{2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\delta}{H_{max}} \right) \quad (6)$$

В главе приведены результаты исследования, показывающие, что учёт процесса прирабатываемости трущихся поверхностей при износе позволяет на 15% повысить точность расчёта формы изношенных поверхностей направляющих, выполненного по формуле (2).

Методика определения влияния износа направляющих на изменение зон контакта сводится к последовательной реализации следующих

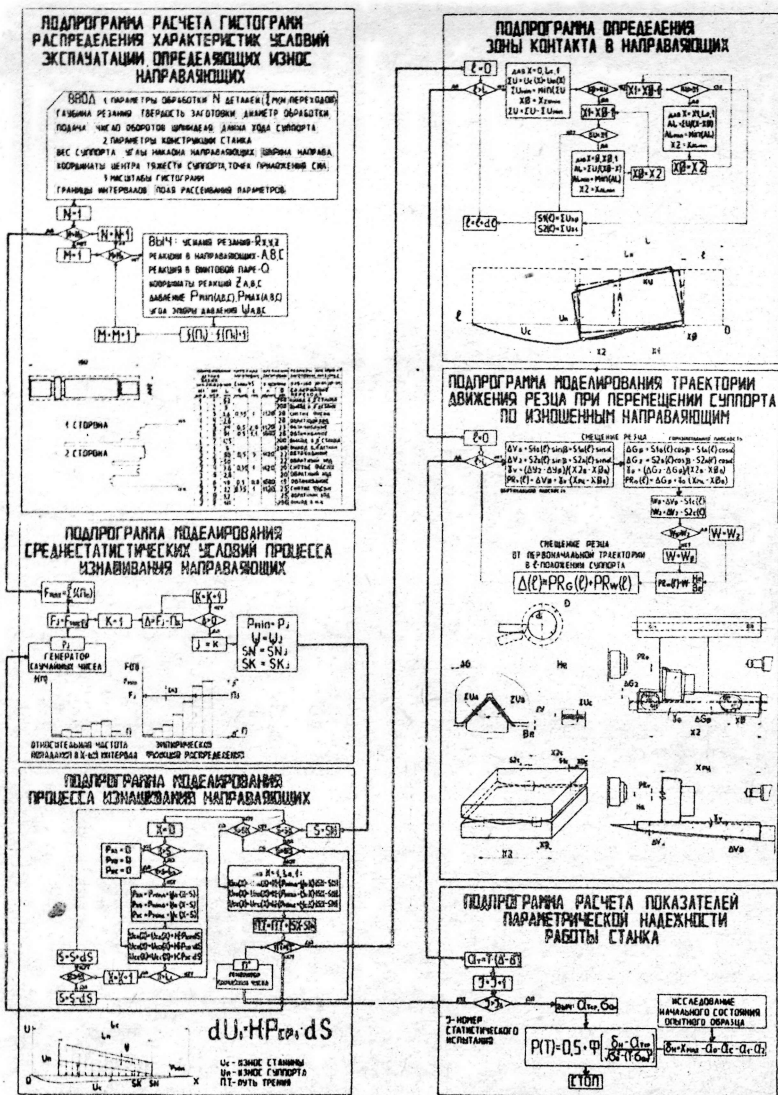


Рис. 1. Схема взаимодействия подпрограмм при статистическом моделировании процесса потери точности токарного станка

операций: а- отыскание точки "начального" касания  $X_0$ , характеризующей наименьшим суммарным износом станины и суппорта среди точек по длине суппорта; б- "опускание" суппорта на величину суммарного износа в т.  $X_0$ ; в- определение направления "крена" суппорта г- отыскание по наименьшему из возможных углов "крена"  $AL_{min}$  точки "вторичного" касания  $X_1$ ; д- "перекатывание" суппорта, осуществляемое как замена "вторичного" касания на "начальное" при условии сохранения незамкнутой системы сил, т.е. когда точки  $X_0$  и  $X_1$  находятся по одну сторону от равнодействующей реакции в направляющих  $A$ . Поиск наиболее вероятных зон контакта продолжается до момента нахождения точек  $X_2$  и  $X_1$ , лежащих по обе стороны от линии действия реакции  $A$ . При этом, положение суппорта на станине будет определяться значением суммарного износа в точках  $X_1$  и  $X_2 - S_1(l)$  и  $S_2(l)$ .

Данный раздел методики является достаточно универсальным и может быть применён при исследовании надёжности металлорежущих станков различных групп. В работе показана возможность его применения на примере станка модели 6А75В по данным экспериментальных исследований УкрНИИСип.

Окончательным этапом математического моделирования процесса потери точности токарных станков при износе направляющих является расчёт изменения траектории движения суппорта. Методика такого расчёта представлена на примере наиболее распространённой в конструкции токарных станков схемы пары скольжения суппорт-станина о тремя опорными гранями направляющих. Расчётные зависимости, соответствующие этой схеме и предусматривающие оценку смещения вершины резца в плоскости нормали к заготовке  $\Delta(l)$  ( $l$  - длина перемещения суппорта), определены на основе известных рекомендаций А.С. Проникова.

При статистическом моделировании процесса изнашивания направляющих и последующем расчёте параметра  $\Delta(l)$ , появляется возможность оценки ожидаемого среднего значения и поля возможного рассеивания изменения параметра точности станка при износе направляющих. В работе приведена последовательность необходимых расчётов а так же методика оценки влияния процесса изнашивания направляющих на вероятность безотказной работы  $P(T)$  по параметру геометрической точности токарных станков.

В заключении главы рассмотрены вопросы, связанные с методикой проведения ускоренного испытания опытных образцов токарных стан-

ков. Показана возможность сокращения сроков испытания при исследовании токарных станков методом экстремального уровня. Приведены, так же, аналитические зависимости для оценки оптимального соотношения между числом и длительностью циклов износа при ускоренном испытании металлорежущих станков.

В третьей главе "Экспериментальная проверка предлагаемых методических положений на примере исследования процесса потери точности станка модели I6K20Ф3С5 в условиях заводской эксплуатации" представлены основные технические характеристики токарного станка с ЧПУ модели I6K20Ф3С5 и дано обоснование правомерности его выбора в качестве объекта исследования.

На станке модели I6K20Ф3С5 проведено исследование процесса формообразования деталей при продольном точении, определены факторы, оказывающие на этот процесс основное влияние. Показано, что процесс изнашивания направляющих токарных станков изменяет непрямолинейность траекторий движения суппорта.

В работе приведены результаты исследования траекторий движения суппорта станка на холостом ходу, которое базировалось на применении автокалиматора АКТ-400. При этом, были определены проекции зон возможных траекторий в вертикальной и горизонтальной плоскости. Оценено смещение зоны возможных траекторий, наблюдаемое при изменении положения суппорта на поперечных направляющих и достигающее, на отдельных участках траектории, значения 4 мкм.

С помощью специального нагрузочного устройства, имитирующего процесс резания, было исследовано влияние нагрузки на траектории движения суппорта. В процессе исследования на месте резцовой головки был установлен универсальный динамометр УДМ-600, что позволило регистрировать усилия, действующие по всем 3 координатным осям. Осевая составляющая силы резания создавалась с помощью электромагнитного порошкового тормоза ПТ-6М. В качестве измерительной и регистрирующей аппаратуры был использован прибор БВ-662.

В результате исследования, на отдельных участках траектории движения суппорта, было зарегистрировано её изменение, составившее для положения суппорта в середине направляющих в горизонтальной плоскости 2 мкм с поперечной составляющей силы резания 50 Н, при незначительном возрастании до 3 мкм при силе 800 Н и 4 мкм в вертикальной плоскости с вертикальной составляющей силы резания 1000 Н, при увеличении до 5 мкм при силе 1800 Н.

Показано, так же, что для станка модели I6K20Ф3С5, при тепловы-

делении в опорах шпинделя, имеет место существенное смещение оси шпинделя, достигающее значения 10 мкм. Приведённые результаты были подтверждены при исследовании партии типовых для данной модели станков деталей. При этом, форма образующей детали измерялась на приборе "Formtester".

Приведённые результаты позволили сделать вывод о том, что влияние многочисленных факторов системы СПИД на процесс формообразования деталей при продольном точении на токарном станке приводит к существенному различию зон возможных траекторий суппорта и профиля обработанных деталей. При этом, случайный характер процессов, участвующих в формообразовании деталей, приводит к рассеиванию параметров профиля деталей значительно превосходящему зону возможных траекторий суппорта, оцененную на холостом ходу.

Таким образом, для того, чтобы в процессе ускоренного испытания опытных образцов, в минимально короткие сроки оценить адекватность математической модели реальному процессу потери точности токарного станка при износе направляющих, целесообразным является контроль изменения траектории движения суппорта на холостом ходу.

Экспериментальное исследование процесса изменения траектории движения суппорта станка модели 16К20Ф3С5 при износе направляющих было проведено на станке, находящемся в условиях эксплуатации 1 механического цеха завода "Красный пролетарий". Станок находился под наблюдением в течении девяти месяцев. За это время трижды было повторено измерение траекторий движения суппорта на холостом ходу в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В качестве измерительной базы была использована шлифованная поверхность цилиндрической оправки, установленной в центрах станка. Измерение проводилось на длине перемещения суппорта  $S = 800$  мм с помощью микаторов ИИП. В работе представлена методика измерения, позволявшая получить достаточную степень точности оценки изменения зоны возможных траекторий движения суппорта. При этом, аттестация оправки и оценка её прогиба была сделана с помощью координатно-измерительной машины в заводской измерительной лаборатории.

В результате исследования удалось экспериментальным путём выявить изменение зоны возможных траекторий суппорта как в горизонтальной так и в вертикальной плоскости. Расчёт изменения траектории движения суппорта станка, за которым проводились эксплуатационные наблюдения, был осуществлён на основе предлагае-

мой в данной работе методики с учётом сведений о деталях, обработанных на станке за период наблюдения. На рис. 2. показано сравнение расчётных и экспериментальных результатов, соответствующих вертикальной плоскости, для которой влияние износа направляющих на изменение траектории движения суппорта проявилось в наибольшей степени. Приведённые результаты доказывают, по нашему мнению, правомерность основных положений методики и возможность её практического применения.

В четвёртой главе "Прогнозирование потери точности металлорежущего станка модели I6K20Ф3C5 при износе направляющих" приведены результаты исследования условий эксплуатации станка модели I6K20Ф3C5. На их основе определены гистограммы распределения характеристик процесса изнашивания направляющих. В соответствии с предлагаемой методикой осуществлено статистическое моделирование процесса потери точности станка при износе направляющих. При этом, был последовательно реализован цикл программ, приведённый на рис. 1. На основе полученных результатов моделирования было оценено ожидаемое изменение траекторий движения вершины резца в плоскости нормали к заготовке а так же параметры возможного рассеивания этого процесса. Дан прогноз вероятности безотказной работы станка по параметру погрешности формы типовой детали с учётом влияния износа направляющих на процесс формообразования. На рис. 3. показано изгибание данного показателя параметрической надёжности в зависимости от прогнозируемого периода эксплуатации станка  $T$  для VII (1), VIII (2) и IX (3) степеней точности по параметру отклонения профиля продольного сечения детали от прямолинейности

В главе представлено, так же, исследование возможного рассеивания результатов статистического моделирования процесса потери точности токарных станков, которое возникает при неполном отражении гистограмм распределения характеристик процесса изнашивания. Результаты данного исследования позволили рекомендовать использование при статистическом моделировании порядка 150 случайных реализаций. На их основе определена, так же, продолжительность рекомендуемого в работе периода исследования условий эксплуатации токарных станков.

В работе исследована закономерность протекания процесса потери точности станка модели I6K20Ф3C5 при износе направляющих в различных типовых условиях проведения ускоренного испытания. При этом, моделировался ход процесса изнашивания для следующих диапа-

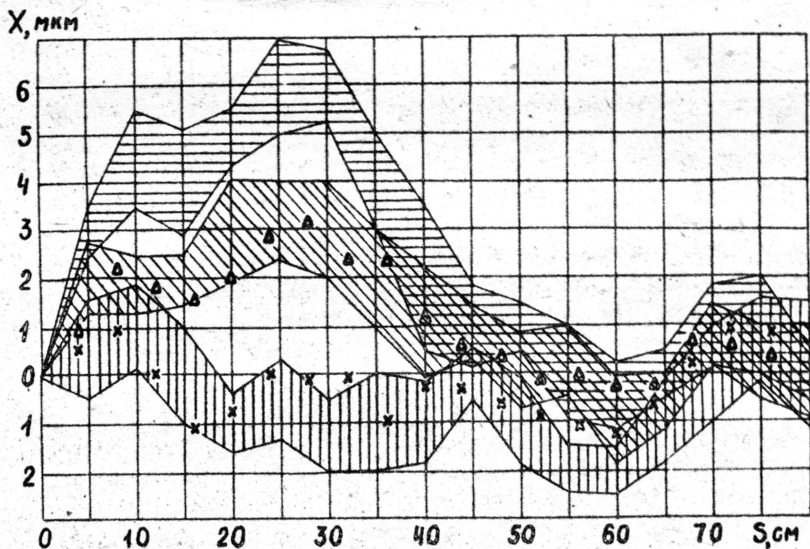


Рис.2.Изменение траектории движения суппорта станка модели I6K20Ф3С5 в вертикальной плоскости при износе направляющих: зона траекторий по результатам эксперимента 7.06.79-  , 20.09.79-  , 5.03.80-  ; результаты расчёта изменения траектории по данным об условиях эксплуатации за период 7.06.79-20.09.79 (  $\Delta$  ), за период 20.09.79-5.03.80 (  $x$  )

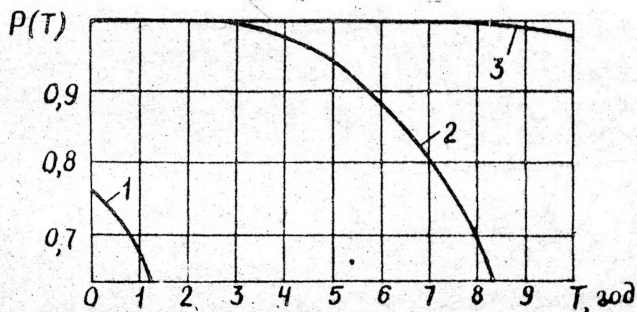


Рис.3. Изменение вероятности безотказной работы станка модели I6K20Ф3С5 при износе направляющих

зонов составляющих силы резания:  $P_y = 1650 \div 1200$  Н,  $P_z = 850 \div 430$  Н,  $P_x = 790 \div 500$  Н. Анализ результатов исследования показал, что при проведении ускоренного испытания станка в условиях действия постоянных нагрузок а так же когда спектр нагрузок недостаточно широк и не отражает рассеивание, соответствующее условиям эксплуатации, следует ожидать нарушения закономерности реального процесса потери точности токарного станка при износе направляющих. Это доказывает, в свою очередь, необходимость учёта рассеивания параметров эпюры давления в направляющих при прогнозировании потери точности токарных станков.

В заключении главы приведены результаты исследования эффективности некоторых путей повышения параметрической надёжности станка модели 16К20Ф3С5. При этом, показано, что уменьшение веса суппортной группы станка на 400 Н позволит уменьшить влияние износа направляющих на параметры геометрической точности станка на 13%. Показано, так же, что это влияние уменьшится на 25% при изменении положения центра тяжести суппортной группы на 30 мм в сторону задней направляющей и на 30% при увеличении ширины граней передней направляющей на 6 мм. В то же время показано, что при одновременном внесении указанных изменений в конструкцию станка, влияние износа направляющих на отклонение траектории вершины резца от прямолинейности в плоскости нормали к заготовке уменьшится не более чем на 35%.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана методика прогнозирования потери точности токарных станков при износе направляющих на базе ускоренного испытания опытных образцов, предусматривающая физическое и математическое моделирование процесса изнашивания направляющих. При этом, разработаны основы математического моделирования на ЭВМ процесса изнашивания направляющих и изменения траектории движения суппорта.

2. Моделирование реализовано на основе метода Монте-Карло. При этом, осуществляется многократное случайное генерирование основных характеристик процесса изнашивания направляющих в соответствии с гистограммами их распределения в условиях заводской эксплуатации, определение среднего статистического значения и поля возможного рассеивания процесса изменения формы направляющих станка при износе. Методика предусматривает учёт рассеивания параметров эпюры давления в направляющих вследствие изменяющихся при то-

чении деталей вектора силы резания и положения суппорта на поперечных направляющих.

3. Определена зависимость среднего квадратического отклонения результатов моделирования от числа статистических циклов, позволявшая рекомендовать использование 150 случайных реализаций в практических задачах исследования влияния процесса изнашивания направляющих токарных станков на точность обработки.

4. При повышенных требованиях к точности моделирования процесса изнашивания направляющих разработан метод, учитывающий прирабатываемость трущихся поверхностей при их износе. Его использование позволяет на 15% повысить точность расчёта формы изношенных поверхностей в трущихся сопряжениях, выполненного по общепринятой методике.

5. Установлена целесообразность использования траектории суппорта токарного станка при его движении на холостом ходу в качестве выходного параметра моделирования, который следует контролировать в экспериментальных исследованиях при оценке адекватности модели реальному процессу потери точности станка при износе направляющих.

6. Проверено соответствие результатов эксперимента и математического моделирования процесса изменения траекторий движения суппорта станка модели 16К20Ф3С5, что подтвердило правильность предлагаемых методических положений и возможность их практического применения.

7. На основе предлагаемой методики исследованы условия эксплуатации станка модели 16К20Ф3С5 и дан прогноз вероятности безотказной работы станка по параметру погрешности формы типовой детали. Установлено, что влияние износа направляющих для данной модели станков приводит к изменению точности на I степень точности, в среднем, за 7-8 лет эксплуатации станка, при рассеивании процесса изменения погрешности формы детали со средним квадратическим отклонением 0,47 мкм/год.

8. Установлено, что при проведении ускоренного испытания станка модели 16К20Ф3С5 в условиях действия постоянных нагрузок а так же, когда спектр нагрузок недостаточно широк и не отражает рассеивание, соответствующее условиям эксплуатации, значительное перераспределение износа между гранями направляющих приведёт к нарушению закономерности процесса потери точности по сравнению с реальными условиями эксплуатации. Это доказывает необходимость

отражения при испытании металлорежущих станков токарной группы всего спектра эксплуатационных нагрузок, включая холостые ходы суппорта.

9. На основе проведённого анализа возможностей повышения параметрической надёжности станка модели 16К20Ф3С5 рекомендовано изменение положения центра тяжести суппортной группы, увеличение ширины граней передней направляющей и уменьшение веса суппортной группы, что позволит на 35% снизить влияние процесса изнашивания направляющих на геометрическую точность станка.

10. Результаты диссертации были использованы при выполнении 3 научно-исследовательских работ, годовой экономический эффект от внедрения которых составил 53000 руб., при ожидаемом эффекте 70000 руб. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения материалов диссертации в промышленности составляет 35000 руб. Эффект предполагается достигнуть за счёт возможности выбора оптимальной длительности межремонтных циклов и за счёт повышения долговечности металлорежущих станков при оптимальном конструктивном исполнении направляющих скольжения подвижных рабочих органов.

#### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кузнецов Б.Н., Утенков В.М. Некоторые вопросы ускоренных испытаний технологического оборудования. - В кн.: Научные основы автоматизации производственных процессов и управления качеством в машиностроении. : Тез. докл. Всесоюзной междуз. научн. техн. конференции. М, 1979, с. 20-23.

2. Кузнецов Б.Н., Утенков В.М. Анализ возможностей по ускорению испытаний станков на технологическую надёжность. - В кн.: Надёжность и эффективность станков-автоматов. / Моск. высш. техн. училище. - М.: МВТУ, 1980, с. 54-68.

3. Дальский С.А., Утенков В.М. Комплексная оценка точности перемещения рабочих органов металлорежущих станков. - В сб.: Технология, организация и экономика машиностроительного производства. - М.: НИИМАШ, 1981, вып. 5, с. 4-5.