М359503

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

АВДЕЕВ Валерий Борисович

ОЦЕНКА ТОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ ПО ПАРАМЕТРАМ ОТКЛОНЕНИЯ РАЗМЕРОВ И ОТКЛОНЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

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 ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1980

Работа выполнена в Московском ордена Ленина 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.НАХАПЕТЯН

кандидат технических наук, доцент В.Н.ЮРИН

Ведущее предприятие – Московский станкостроительный завод "Красный пролетарий" имени А.И.ЕФРЕМОВА

Защита диссертации состоится "___" _____ 1980 г. на заседании специализированного Совета по технологии машиностроения МВТУ им. К.Д.Якунина (ауд. К053.15.15, по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные по вышеуказанному адресу.

Автореферат разослан "___" 1980 г.

Ученый секретарь Р.К.Мещеряков

М359503

Объем I п.л. Тир.100 экз.
Бауманская ул., д.5.

1359503
Авдеев В.Б.Оценка точност

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В среднем около 20% времени недоиспользования металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ обусловлено недостаточной его надежностью. Простои данного оборудования обходятся дорого, но не меньший ущерб приносит выпуск бракованных деталей. В связи с чем сегодня на первый план выдвигается задача параметрической (точностной) надежности. Проблеме точностной надежности станков с ЧПУ в том числе токарной группы посвящено незначительное количество исследований.

Для создания высоконадежных токарных станков с ЧПУ повышенной точности и производительности весьма актуальным является проведение теоретических и экспериментальных исследований по разработке вопросов теории надежности, методов испытаний и путей повышения уровня точностной надежности станков.

Цель исследования. Разработка частной методики оценки надежности токарных станков с ЧПУ среднего типоразмера на основе анализа закономерностей формирования отказа по параметрам точности обрабатываемых деталей.

Методы исследований. В работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования базируются на научных основах теории надежности и технологии машиностроения, элементах теории вероятностей и математической статистики. Разработанные модель формирования отказа токарного станка по точности обработки деталей и расчетно-экспериментальный метод оценки суммарного воздействия процессов и явлений, протекающих в станке, на точность размеров обрабатываемых деталей хорошо согласуются с экспериментальными данными. Экспериментальные работы проводились на токарном станке с ЧПУ модели 1Е61ПМ-Ф3 с помощью специально спроектированных и изготовленных устройств, с использованием современной измерительной и контрольно-регистрирующей аппаратуры.

Научная новизна. Разработана методика определения численных значений показателей точностной надежности: вероятности безотказной работы $P(t)$ и запаса надежности $K_н(t)$ токарных станков с ЧПУ среднего типоразмера по параметрам отклонения размеров и отклонения расположения поверхностей обрабатываемых деталей. Доказана адекватность разработанной модели формирования отказа станка по параметрам точности деталей реальному процессу путем

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

одновременной экспериментальной оценки всех основных процессов и явлений, ухудшающих точность изготовления деталей. Получены функциональные зависимости и определены количественно закономерности взаимного влияния некоторых процессов, протекающих при работе станка. Предложен расчетно-экспериментальный метод оценки суммарного воздействия процессов и явлений на точность размеров обрабатываемых деталей.

Практическая ценность. Предлагаемый методический подход при использовании численных значений показателей надежности позволяет иметь пути повышения надежности, т.е. активно влиять на работоспособность станка путем изменения конструктивного исполнения, технологии изготовления деталей и узлов станка или условий его эксплуатации. Даны практические рекомендации по повышению уровня точностной надежности исследуемых станков и станков токарной группы.

Реализация работы. Результаты работы внедрены в производство. Методика оценки точностной надежности токарных станков с ЧПУ и практические рекомендации по повышению надежности приняты к использованию при конструкторской разработке, изготовлении и точностных испытаниях токарных станков Ульяновским машиностроительным заводом им.Володарского. Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 31500 руб.

Аппробация работы. Результаты исследования доложены и обсуждены на У научно-технической конференции автозавода им.И.А.Лихачева и НИИТАВТОПРОМа (1977 г.). Полностью работа доложена на кафедре "Станки и автоматы" МВТУ им.Н.Э.Баумана (1978 г.).

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 3 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений, изложенных на 225 страницах. Содержит 135 страниц основного текста, 70 рисунков, 28 таблиц и список литературы из 97 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе. "Обзор литературы, постановка вопроса, цель и задачи работы" приведен анализ исследований по проблеме надежности металлорежущих станков. Отмечено, что теоретическая база для исследований надежности заложена в работах И.Базовско-

го. Б.В.Гнеденко, Н.Г.Бруевича, А.С.Проникова, Д.Н.Решетова, Л.И.Волчкевича, И.В.Дунин-Барковского и др.

В практическом плане можно выделить две части проблемы надежности: расчет надежности на этапе проектирования и оценка надежности, когда машина изготовлена. В настоящее время наиболее работоспособными методами получения информации о надежности являются экспериментальные методы. По способу оценки их можно разбить на статистические методы и методы, исследующие формирование отказа на основе анализа закономерностей его возникновения. Применение статистических методов требует значительный объем выборки для оценки закона распределения отказов станков по точности, а также дает данные с запозданием, когда изготовлена и эксплуатируется партия станков. Эти две особенности ограничивают применение данного метода при испытаниях сложных дорогостоящих объектов, каковыми являются станки с ЧПУ.

Предложенный проф.А.С.Прониковым методический подход к оценке надежности, базирующийся на основе учета действующих в изделии физических процессов, изменяющих выходные параметры, и учитывающий случайное течение этих процессов во времени, получил в настоящее время широкое распространение при определении и прогнозировании параметрической надежности металлорежущих станков. Данный методический подход применим к любому технологическому оборудованию. Однако использование его для конкретного оборудования требует дополнительных разработок и исследований и на их базе создания частных методик с учетом особенностей конструкции и эксплуатации данного типа станков.

С позиций станкостроения необходимо выявить влияние конструкции станка и его элементов на погрешности обработки деталей. В связи с чем при исследовании точностной надежности исходя из закономерностей возникновения отказа необходимым является на основе изучения отдельных процессов и явлений определить с какой точностью будут обработаны детали на испытуемом оборудовании. Для решения этой задачи предлагается за основу взять расчетно-аналитический метод оценки точности производства деталей, начало которому было положено в трудах К.В.Вотинова, В.М.Кована, А.П.Соколовского, дальнейшее развитие получившем в работах В.С. Корсакова, А.А.Маталина и др., и развить его в направлении учета факторов, определяющих точность обработки, как случайных процессов и учета взаимного влияния этих процессов.

Станки с ЧПУ токарной группы распространены в промышленности и решение вопросов их надежности является актуальным. Важным при оценке надежности станка является выбор тех параметров точности деталей, исследование которых будет определять уровень его надежности. Работы по исследованию точности и надежности токарных станков рассматривают, как правило, формирование точности обработки в направлении диаметра. Однако в машиностроении существует большое количество деталей, допуск на осевые размеры которых составляет 0,1÷0,15 мм, поэтому своевременна разработка методики оценки надежности на примере изучения формирования отказа по параметрам точности в осевом направлении.

Для обеспечения взаимозаменяемости достаточно, чтобы отклонения формы и расположения не выходили за пределы допуска на размер. Однако данные отклонения оказывают влияние на работоспособность деталей машин. Следовательно значимым является вопрос оценки надежности как по параметру отклонения размеров, так и по параметрам отклонения формы и расположения.

На основе проведенного анализа поставлены следующие задачи:

1. Разработать модель формирования отказа токарного станка с ЧПУ по параметрам точности обработки деталей в осевом направлении при действии процессов различной скорости.

2. Проверить степень адекватности модели реальному процессу путем комплексного исследования всех основных факторов, определяющих точность обработки, в течение межналадочного периода работы станка.

3. В соответствии с экспериментальными данными обосновать выбор математической модели оценки надежности.

4. Разработать метод накопления данных для определения надежности, с учетом случайной природы и взаимного влияния процессов, протекающих при работе станка.

5. Определить показатели параметрической надежности исследуемого образца станка за межналадочный период.

6. Определить степень воздействия отдельных элементов и механизмов станка на показатели параметрической надежности и дать практические рекомендации по повышению уровня надежности исследуемых станков и станков токарной группы.

Во второй главе "Методические положения по определению параметрической надежности токарных станков с ЧПУ" отмечается, что экспериментальным испытаниям на надежность металлорежущего стан-

ка предшествует анализ его состояния; состояния его составных частей; выбор типовых условий для испытаний – типовых режимов, детали и т.д. Так же предшествует разработка теоретических положений по выбору математической модели оценки надежности.

В целях использования результатов работы для различных токарных станков среднего типоразмера, для разработки и апробирования частной методики оценки точностной надежности выбирается станок, который содержит характерные черты этого оборудования (выбран токарный станок с ЧПУ модели 1Б61ПМ-Р3).

Типовая деталь (ступенчатый валик), режимы и инструмент выбирались путем статистических исследований на предприятиях, эксплуатирующих станки 1Б61ПМ-Р3.

Для выявления и анализа точностных связей между элементами станка и параметрами точности обрабатываемых деталей составлена структурная схема точностной надежности. Схема дает возможность проведения анализа состояния станка и изменения его во времени, показывает, какие параметры точности деталей зависят от каких элементов и механизмов станка.

Предлагаемая методика предусматривает комплексный подход к оценке надежности станков, под которым понимается: во-первых, рассмотрение технологической системы как единого целого, т.е. учет влияния на параметры точности деталей не только станка, но и приспособления, инструмента, детали; во-вторых, рассмотрение одновременного воздействия на формирование точности всех процессов и явлений, возникающих при работе станка.

Предварительные эксперименты показали, что некоторые процессы и явления оказывают незначительное влияние (менее I мкм) на формирование отказа станка по точности, поэтому при испытаниях учитываются следующие доминирующие факторы, определяющие отклонение размеров: Δ_1 – погрешность траектории движения поперечных салазок относительно оси вращения шпинделя; Δ_2 – погрешность автоматической смены инструмента; Δ_3 – погрешность позиционирования суппорта; $\Delta_4(t)$ – упругие отжатия суппортной группы с инструментом; $\Delta_5(t)$ – тепловые деформации шпинделя; $\Delta_6(t)$ – смещение во времени нулевого положения суппорта (дрейф "О"); Δ_7 – погрешность установки заготовки в патроне; $\Delta_8(t)$ – тепловые деформации деталей; $\Delta_9(t)$ – размерный износ инструмента; Δ_{10} – погрешность наладки инструмента на размер. Отклонение расположения поверхностей Δ_ρ обуславливает перекос заготовки при установке в пат-

роне. Отклонение формы мало.

Для представления и анализа закономерностей случайного воздействия во времени элементов и механизмов станка на параметры точности типовых деталей разработана модель формирования отказа станка по точности.

В целях определения количественной функциональной связи между процессами и явлениями, протекающими в станке, и параметрами точности деталей составлены расчетные схемы влияния узлов и элементов станка на точность изготовления деталей, разработаны зависимости взаимного влияния процессов. Расчетная формула, описывающая взаимосвязь процессов упругих отжатий суппортной группы с инструментом $\Delta_4(t)$ и износа чистового инструмента $\Delta_9(t)$, позволяет при наличии данных о составляющих правой части произвести расчет процесса $\Delta_4(t)$ в течение межналадочного периода T_0 работы станка:

$$\Delta_4(t) = \frac{1}{j_c} \cdot P_z \cdot \left[1 + r \cdot h \cdot \Delta_9(t)\right] \quad , \qquad (I)$$

где j_c – жесткость суппортной группы с инструментом; P_z – осевая составляющая силы резания при вновь заточенном резце; r – коэффициент взаимосвязи износа инструмента и изменения силы резания; h – коэффициент пересчета размерного износа резца в износ по задней грани.

Во время обработки происходит смещение заготовки $\Delta_7(t)$ относительно патрона в результате увеличения сил ее закрепления при расширении от нагрева в процессе чернового резания. Расчетная зависимость, определяющая взаимосвязь процесса $\Delta_7(t)$ и тепловых деформаций деталей $\Delta_8(t)$, описывает изменение воздействия приспособления на точность в течение периода T_0:

$$\Delta_7(t) = \rho \cdot \Delta_8(t) \quad , \qquad (2)$$

где ρ – коэффициент, характеризующий жесткость патрона.

Тепловые деформации деталей $\Delta_8(t)$ изменяются в течение периода T_0 из-за увеличения нагрева деталей в результате роста силы резания при износе чернового резца $U(t)$ и увеличения температуры СОЖ $t(t)$. Взаимосвязь данных процессов описывается формулой:

$$\Delta_8(t) = \frac{P_y \cdot V \cdot l}{S} \cdot \left[1 + a \cdot U(t)\right] \cdot \frac{n}{c \cdot m} \cdot \alpha \cdot Z \cdot \left[1 - d + b \cdot t(t)\right], \qquad (3)$$

где P_y – вертикальная составляющая силы резания при вновь заточенном резце; V – скорость резания; t – длина прохода; S – подача; a – коэффициент взаимосвязи износа резца и роста силы резания; η – коэффициент, определяющий долю тепла, получаемую деталью при резании; c, α – удельная теплоемкость и коэффициент линейного расширения материала детали; m, Z – масса и размер детали; d – коэффициент, учитывающий долю тепла, отнимаемого у детали СОЖ, патроном, окружающей средой в первоначальный момент; β – коэффициент, характеризующий действия нагрева СОЖ на количество тепла, отнимаемое у детали.

Для определения суммарной погрешности размеров деталей при наличии данных о составляющих процессах и явлениях разработан расчетно-экспериментальный метод на основе модели формирования отказа станка и расчетных схем и зависимостей. Данный метод учитывает случайный характер явлений и процессов и взаимное влияние процессов при работе станка, дает возможность знать закон распределения размеров деталей и его числовые характеристики (математическое ожидание $M_z(t)$ и дисперсию $D_z(t)$) в любой момент межналадочного периода T_0 работы станка.

Для расчета $M_z(t)$ и $D_z(t)$ достаточно иметь числовые характеристики составляющих факторов: математические ожидания $M_n(t)$ и дисперсии $D_n(t)$. При получении суммы необходимо сложить как зависимые, так и независимые случайные процессы. Принимая, что между зависимыми случайными процессами установлена детерминированная связь, можно складывать их числовые характеристики, используя правила сложения независимых случайных процессов.

Числовые характеристики размеров деталей в любой момент периода T_0 можно получить по следующим формулам:

$$M_z(t) = \pm\Delta_1 \pm M_2 \pm M_3 + M_4 f[\Delta_9(t)] - M_5(t) + M_6(t) - M_7 - \\ - M_7 f[\Delta_8(t)] - M_8 - M_8 f[U(t)] - M_8 f[t(t)] + M_9(t) + M_{10}; \quad (4)$$

$$D_z(t) = D_2 + D_3 + D_4 f[\Delta_9(t)] + D_5(t) + D_6(t) + D_7 + \\ + D_7 f[\Delta_8(t)] + D_8 + D_8 f[U(t)] + D_8 f[t(t)] + D_9(t) + D_{10}. \quad (5)$$

Закон распределения размеров на основании центральной предельной теоремы теории вероятностей возможно принять нормальным.

Определение закономерностей изменения точности обработки де-

талей во времени это этап работы, дальнейшей задачей является расчет показателей надежности. Вероятность безотказной работы станка $P(t)$ можно определить по формуле, предлагаемой для аналогичных расчетов проф.А.С.Прониковым:

$$P(t) = 0{,}5 + \Phi\left[\frac{X_{max} - M_x(t)}{\sqrt{D_x(t)}}\right], \qquad (6)$$

где Φ – нормированная функция Лапласа; X_{max} – предельное значение параметра точности; $M_x(t)$ и $D_x(t)$ – математическое ожидание и дисперсия параметра точности, функции времени.

Вероятность безотказной работы $P_\Sigma(t)$ по двум параметрам точности может быть рассчитана по формуле:

$$P_\Sigma(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) . \qquad (7)$$

Расчет запаса надежности будет производиться по формуле:

$$K_н(t) = \frac{X_{max}}{X_\gamma(t)} , \qquad (8)$$

где $X_\gamma(t)$ – текущее значение параметра точности, при котором с вероятностью γ параметр X не выйдет за этот предел.

В третьей главе "Проверка адекватности модели формирования отказа станка по параметрам точности типовой детали реальному процессу" производится экспериментальная оценка соответствия представлений, разработанных в модели и расчетных схемах, действительной картине работы станка в момент обработки.

Для решения этого вопроса производилась обработка типовых деталей с одновременной оценкой всех доминирующих факторов и измерением фактической точности обрабатываемых деталей Σ. Степень соответствия фактической погрешности Σ и ожидаемой Σ', полученной суммированием составляющих, и будет являться критерием степени адекватности модели реальному процессу.

Для проведения экспериментальных работ, согласно расчетным схемам, были разработаны методы, спроектированы и изготовлены специальные устройства. Фактор Δ_1 измерялся предварительно с помощью поверочной линейки ЛЧ-0-200, измерительной системы модели 2Г2 и записывался самописцем Н338/I. Фактор Δ_2 оценивался микатором модели ИИМ, установленным в специальное приспособление. Факторы Δ_3 и $\Delta_6(t)$ определялись с помощью микроскопа ОМС-6 и штриховой меры, погрешность нанесения штрихов на которой 1÷2 мкм. Измерение фактора $\Delta_4(t)$ выполнялось специальным устрой-

ством и регистрировалось самописцем ВВ 662. Факторы $\Delta_5(t)$ и $\Delta_7(t)$ и мерялись пневматическими бесконтактными преобразователями модели 236, оснащенными реостатными датчиками, и записывались самописцем Н3020/3. Факторы Δ_7 и Δ_ρ оценивались измерительными головками модели ИМИГ. Осевые размеры Z деталей и фактор $\Delta_8(t)$ измерялись контактным устройством, установленным на микроскопе УИМ-21. Фактор $\Delta_9(t)$ оценивался устройством, оснащенным микатором ИИПМ. Наладка инструмента на размер выполнялась по концевым мерам длины.

Решение рассматриваемой задачи выполнялось в два этапа. Вначале производилась отработка методов и средств выполнения исследований, оценивалось соответствие ожидаемой погрешности обработки Σ' и фактической Σ в первоначальный момент работы станка. Затем осуществлялась проверка адекватности модели при обработке партии типовых деталей в течение 4,5 ч. По результатам данного эксперимента построена схема формирования суммарного влияния процессов и явлений на точность осевых размеров Z деталей в течение периода T_0 (рис.I), где $I = -\Delta_7'$ – погрешность

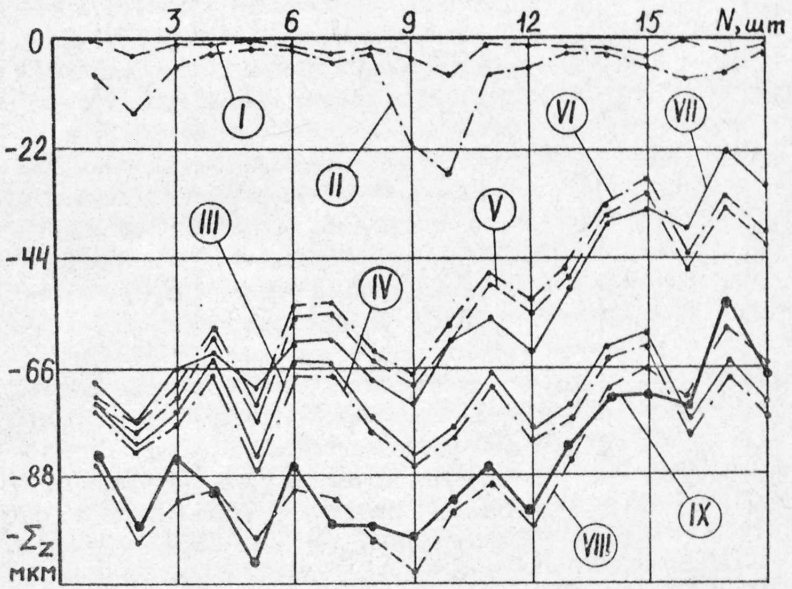

Рис.I. Схема формирования погрешности осевых размеров

установки заготовки ввиду отклонения от перпендикулярности торца патрона оси вращения шпинделя; II = I – Δ_7'', где Δ_7'' – погрешность постановки заготовки в патрон перед закреплением; III = II – $-\Delta_7'''$, где Δ_7''' – выталкивание заготовки при закреплении; IУ = III – $-\Delta_8(t)$; У = IУ + $\Delta_9(t)$; УI = У + $\Delta_4(t)$; УII = УI $\pm[\Delta_3+\Delta_6(t)]$; УIII = УII – $\Delta_5(t) = \Sigma_z'$; IX = Σ_z.

Результаты экспериментов показывают, что предложенная модель формирования отказа станка по точности осевых размеров адекватна реальному процессу как в начале, так и в течение периода T_0 работы станка. Разность между полученной суммированием составляющих Σ_z' и фактической погрешностью Σ_z не превышает 10% от фактической погрешности деталей Σ_z. Причем рассогласование знакопеременно (между линиями УII и IX), что является необходимым условием для суждения об адекватности модели. Наличие разности объясняется погрешностями измерений при выполнении экспериментов и влиянием на точность размеров неучтенных факторов.

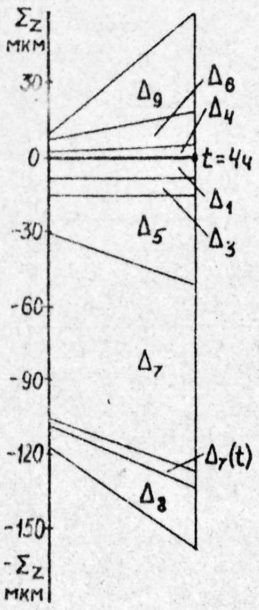

Рис.2. Баланс факторов, определяющих погрешность размеров

На основе экспериментов по проверке адекватности модели составлен баланс факторов, определяющих погрешность осевых размеров (рис.2), который уточнен при накоплении данных для определения надежности станка. Баланс иллюстрирует средние значения погрешностей, не представляя их рассеивания. Анализ данных показывает, что погрешность позиционирования каретки Δ_3 (в аспекте рассеивания повторяемости достигает 40–45 мкм); тепловые деформации шпинделя $\Delta_5(t)$; дрейф "0" $\Delta_6(t)$ оказывают значительное влияние на точность обработки.

Из технологических факторов наибольшее воздействие на точность производит погрешность установки Δ_7, которая получает добавление во время обработки $\Delta_7(t)$. Тепловые деформации деталей $\Delta_8(t)$ и износ инструмента $\Delta_9(t)$ имеют большой темп роста во времени работы станка. Следует заметить, что если в первоначальный момент все факторы, оказывающие наибольшее вли-

ние, действуют в сторону уменьшения размеров и существенной компенсации составляющих не наблюдается, то в конце периода T_0 (t = 4 ч) дрейф "0" $\Delta_6(t)$ и износ инструмента $\Delta_9(t)$ практически полностью компенсируют тепловые деформации шпинделя $\Delta_5(t)$ и деталей $\Delta_8(t)$.

Разработанная модель адекватна и по второму параметру точности. Отклонение расположения поверхностей Δ_ρ вызвано воздействием только одного явления - перекосом заготовки при установке в патроне, изменения уровня Δ_ρ в течение периода T_0 не наблюдается. Величина погрешности Δ_ρ, выраженная через отклонение от параллельности базового к вновь обрабатываемым торцам на диаметре 66 мм, колеблется в пределах от 5 до 29 мкм.

В четвертой главе "Определение точностной надежности станка 1Е61ПМ-Ф3 по параметрам отклонения размеров и отклонения расположения поверхностей обрабатываемых деталей" разрабатывается метод накопления данных для определения надежности, рассчитываются показатели надежности и рассматриваются пути повышения надежности токарных станков.

Адекватность модели дает возможность при накоплении данных для оценки надежности исследовать процессы и явления, существующие при работе станка, по отдельности, однако с учетом их взаимного влияния, т.е. исследовать одновременное воздействие групп процессов, между которыми существует взаимосвязь. Накопление данных состоит в получении информации для оценки математических ожиданий $M_n(t)$ и дисперсий $D_n(t)$ процессов и явлений в любой момент периода T_0. Для этого используются: расчетный метод; накопление экспериментальных статистических данных; использование данных ранее проведенных исследований.

Оценка факторов Δ_1, Δ_3, $\Delta_5(t)$, $\Delta_6(t)$, $\Delta_9(t)$ производилась методами и средствами, используемыми при проверке адекватности модели. Статистические данные о факторе Δ_3 получались при холостой работе станка по программе чистовой обработки типовой детали; о факторах $\Delta_5(t)$, $\Delta_6(t)$, $\Delta_9(t)$ при обработке нескольких партий типовых деталей. Показано, что основным источником дрейфа "0" $\Delta_6(t)$ является дрейф выходного сигнала устройства ЧПУ. Расчет оценок числовых характеристик процессов $\Delta_4(t)$, $\Delta_7(t)$, $\Delta_8(t)$ в течение периода T_0 производился на основе формул (I), (2), (3) с учетом положений теории вероятностей об оперировании со случайными величинами и процессами. Данные о коэффициентах, опре-

делящих взаимосвязь процессов, и случайных величинах и процессах, входящих в правые части зависимостей, получались экспериментально. Статистические данные о факторах Δ_T и Δ_ρ накапливались путем измерения погрешности установки заготовок относительно торца патрона. Оценка дисперсии наладки по образцовой детали D_{10} рассчитана на основании литературных данных.

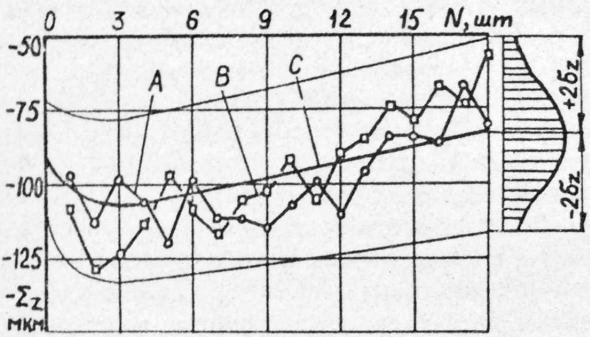

Рис.3. Диаграммы действительных погрешностей размеров $Z(A,B)$ и расчетно-экспериментальная область их вероятных значений, где $C = M_z(t) - M_{10}$

На основе полученной информации определены оценки числовых характеристик $M_z(t)$ и $D_z(t)$, обуславливающие вероятную область получения размеров Z типовых деталей. Действительные размеры партий деталей (рис.3) не выходят за пределы области их вероятных значений, характер изменения во времени соответствует расчетно-экспериментальному. Эти факты подтверждают правильность метода, разработанного для определения суммарной погрешности размеров обрабатываемых деталей.

При определении показателей надежности математическое ожидание размера наладки M_{10} выбирается таким, чтобы вероятная область получения размера Z не выходила за пределы нижней границы поля допуска δ_Z (рис.4). При расчете запаса надежности $K_H(t)$ по формуле (8) за $X_\gamma(t)$ принимается верхняя граница четырехсигмовой зоны рассеивания параметра точности.

Расчеты показывают (табл.I), что уровень надежности исследуемого станка достаточен при обработке деталей по I0 и II квалитету точности осевых размеров, вероятность безотказной работы выше регламентированной для расчета запаса надежности $P_1(t) > 0,977$, имеется запас точности δ_H. В случае изготовления деталей по 9 квалитету точности уровень надежности недостаточен.

Расчет показателей надежности по параметру отклонения рас-

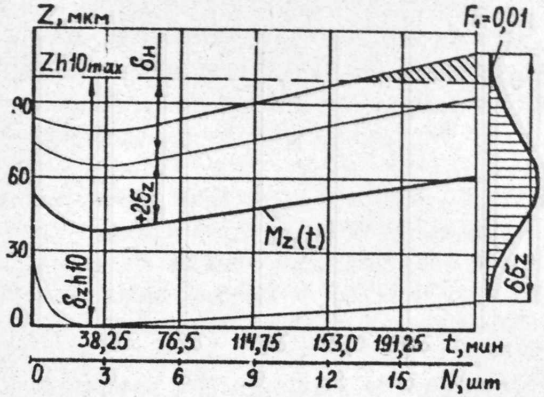

Рис.4. К определению показателей надежности по параметру отклонения размеров

положения производился для УП степени точности – δ^{VII} =20 мкм; УШ – δ^{VIII} = 30 мкм; IX – δ^{IX} = 50 мкм (СТ СЭВ 636-77). Вероятность безотказной работы равна P_2^{VII} = 0,736; $P_2^{VIII} > 0,977$ и $P_2^{IX} > 0,977$, существует запас надежности.

Вероятность безотказной работы по двум параметрам точности типовой детали (допуск на размеры по I0 квалитету, на отклонение расположения по УШ степени точности) в конце периода T_0 равна $P_\Sigma(t) = 0,984$.

Таблица I

N_i	t_i, мин	Допуск на размер Z = 45 мм, мкм					
		$\delta h9$ = 62		$\delta h10$ = I00		$\delta h11$ = I60	
		P_1	$K_{н.1}$	P_1	$K_{н.1}$	P_1	$K_{н.1}$
I	I2,75	0,935	0,9II	>0,999	I,470	>0,999	2,35I
3	38,25	0,955	0,942	>0,999	I,520	>0,999	2,432
6	76,50	0,9I9	0,833	>0,999	I,424	>0,999	2,278
II	I40,25	0,79I	0,776	0,999	I,252	>0,999	2,003
I8	229,50	0,524	0,66I	0,990	I,066	>0,999	I,707

Однако зачастую предъявляются более высокие требования по точности, поэтому может стоять вопрос о повышении надежности станка. Разработанная методика дает возможность активно влиять на уровень точностной надежности, варьируя величинами $M_x(t)$ и $D_x(t)$ (формула (6)) путем изменения конструкции, технологии изготовления или условий эксплуатации станков.

В качестве примера рассмотрена возможность повышения надежности в результате снижения дрейфа "0" $\Delta_6(t)$ и погрешности установки заготовки Δ_7; Δ_p. Показано, что осуществление данных мероприятий позволит изготавливать детали по 9 квалитету точности

размеров и УП степени точности отклонения расположения.

Отмечено, что для оценки точностной надежности серии станков необходимо получить статистические данные о процессах и явлениях, изменяющихся от станка к станку, и затем по разработанной методике рассчитать показатели надежности серии.

Разработанная методика сохранит свою работоспособность, если процессы и явления, существующие в станках, будут являться функциями времени из-за медленно протекающих процессов.

Предложены рекомендации по повышению точностной надежности исследуемой модели станков и станков токарной группы.

ВЫВОДЫ

1. Разработана частная методика оценки точностной надежности токарных станков с ЧПУ по параметрам отклонения размеров и отклонения расположения поверхностей обрабатываемых деталей, позволяющая при использовании численных значений показателей надежности активно влиять на уровень надежности станка, путем изменения конструкций и технологии изготовления деталей и узлов станка или условий его эксплуатации.

2. Предложенная структурная схема точностной надежности, устанавливая многообразие связей между элементами станка и параметрами точности обрабатываемых деталей, дает возможность проводить анализ точностных связей в станке, рассматривать изменение их во времени, указывать рациональные пути исследования надежности на основе изучения закономерностей формирования отказа станка по точности.

3. Разработана модель возникновения отказа станка по точности обработки деталей в осевом направлении при действии процессов различной скорости, анализ которой позволяет видеть как формируется точность обработки типовых деталей во времени.

4. Экспериментальные исследования при одновременной оценке всех основных факторов, ухудшающих точность обработки, подтвердили адекватность модели реальному процессу. Разность между полученной суммированием составляющих и фактической погрешностью не выходит за пределы 10% от фактической погрешности изготовления деталей, что доказывает правильность разработанных представлений о процессе образования погрешности обработки.

5. Адекватность модели формирования отказа станка позволяет разработать метод вероятностного суммирования составляющих факторов для определения погрешности обработки размеров. Фактические размеры партий обработанных деталей не выходят за пределы расчетно-экспериментальных областей их вероятных значений, определенных этим методом, на основе данных о процессах и явлениях, полученных путем последовательного накопления, что доказывает правильность разработанного метода.

6. При испытаниях на надежность для сохранения реальной картины процесса формирования точности обработки необходимо накопление данных о составляющих процессах производить с учетом их взаимного влияния. В работе получены функциональные зависимости и определены количественно закономерности взаимного влияния процессов: упругих отжатий суппортной группы и износа чистового инструмента; дополнительного выталкивания детали из патрона во время обработки и тепловых деформаций деталей; тепловых деформаций деталей и процессов износа чернового резца и нагрева СОЖ.

7. Испытуемый станок удовлетворяет требованиям по параметрам точности типовой детали, вероятность безотказной работы в конце 4 ч периода равна 0,984. При обработке деталей меньшей точности – по II квалитету точности осевых размеров и IX степени точности отклонения расположения существует запас надежности равный соответственно I,707 и I,846. В случае производства на станке деталей по 9 квалитету точности размеров и УП степени точности отклонения расположения вероятность безотказной работы равна соответственно 0,524 и 0,736, стоит вопрос о повышении уровня точностной надежности станка.

8. Жесткость суппортной группы с резцом в осевом направлении равна I5000 Н/мм, что даже при малой силе чистовой подрезки торцов обуславливает существенное воздействие упругих отжатий этого узла на точность размеров (до 3÷5 мкм за 4 ч работы станка) В целях уменьшения упругих отжатий следует увеличить жесткость суппортной группы путем усиления наиболее слабых ее звеньев и уменьшения числа стыков в конструкции.

9. Тепловые деформации шпинделя в осевом направлении составляют 34÷4I мкм за 4 ч работы при обработке типовых деталей. Для снижения влияния этого фактора на точность размеров целесообразно перенести упорный подшипник из задней опоры в переднюю.

10. Процесс смещения нулевого положения каретки исследованного образца станка воздействует на точность размеров от I до 3I мкм за 4 ч работы. Основным источником дрейфа "0" является дрейф выходного сигнала устройства ЧПУ, что говорит о необходимости при проектировании устройств ЧПУ назначать допуски на величину дрейфа "0" и производить проверку его уровня у вновь изготовленных устройств.

II. При решении вопросов точностной надежности станков следует учитывать характеристики всех элементов технологической системы, формирующей качество обработки. Опытами определено: отклонения размеров и расположения поверхностей из-за погрешности установки заготовок в патроне составляют соответственно 55÷95 мкм и I÷32 мкм; отклонение размеров по причине процессов дополнительного выталкивания деталей из патрона, размерного износа чистового резца и тепловых деформаций деталей достигает за 4 ч работы станка соответственно 4÷7 мкм, 20÷65 мкм и 23÷40 мкм.

I2. Процессы износа чернового резца и нагрева СОЖ прямо не оказывают влияние на точность обработки деталей, однако они воздействуют на точность, увеличивая тепловые деформации деталей и суммарное их влияние на точность осевого размера Z = I57 мм через 4 ч работы может достигать 25÷30 мкм. Для повышения уровня безотказной работы станка по точности критерий предельного износа чернового резца при точных обработках должен учитывать факт роста во времени нагрева детали от предварительной обработки.

I3. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанной методики и практических рекомендаций по повышению точностной надежности токарных станков с ЧПУ модели IE6IПМ-F3 составляет 3I500 руб.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

I. Авдеев В.Б. Исследование дрейфа "0" системы ЧПУ токарного полуавтомата. – Изв. вузов. Машиностроение, I978, № 2, с. I75-I79.

2. Дмитриев Б.М., Авдеев В.Б. Факторы, определяющие точность получения осевых размеров деталей на токарных станках. – Изв. вузов. Машиностроение, I978, № 7, с. I74-I78.

3. Всего по теме диссертации опубликовано три работы.