

М44/2522
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
УДК 621.941.2-529.08

ХАЧАТРЯН Артур Сергеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СТАНКА ПРИ
ДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВЫХ ФАКТОРОВ

05.03.01 - Процессы механической и физико-химической
обработки; станки и инструмент

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1986

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

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Б.М.Дмитриев

Официальные оппоненты - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В.Э.Пуш ;

- кандидат технических наук,
доцент О.Ф.Полтавец.

Ведущая организация - указана в решении специализированного

Защита диссертации состоится на заседании специализированного высшего технического училища им. Н.Э.Баумана, В-5, 2-я Бауманская ул

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

Ваш отзыв на автореферат и заключение, просим направлять по адресу:

Автореферат разослан " _____"

M442522

Ученый секретарь
специализированного Совета
к.т.н., доцент

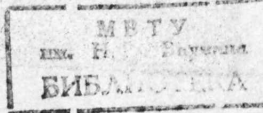
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Автоматизация технологических процессов, являющаяся одним из главных направлений ускорения научно-технического прогресса в народном хозяйстве, требует создания и применения металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ). В проекте "Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года", одобренном октябрьским (1985 г.) Пленумом ЦК КПСС, указано на необходимость обеспечения опережающего выпуска металлорежущих станков с ЧПУ, станков типа "обрабатывающий центр", увеличения производства автоматизированных и роботизированных комплексов и линий, гибких производственных систем металлообработки.

Станки с ЧПУ характеризуются широкими технологическими возможностями, высокой степенью автоматизации и энергоемкости, интенсивной эксплуатацией. Указанные характеристики станков с ЧПУ обуславливают более интенсивное воздействие нагрузок на их механизмы, увеличение вибраций, повышение тепловыделений и др., которые приводят к снижению точности обработки, появлению брака. Особое место занимают тепловые деформации станков, доля которых в общем балансе погрешности обработки составляет по разным данным от 30 до 70%.

Дальнейшее усложнение конструкций и возрастание степени автоматизации с одной стороны, широкое применение и постоянно повышающиеся требования к качеству выпускаемых станков с ЧПУ с другой стороны, вызывают необходимость разработки методов и средств оценки их качества. В решениях XXVI съезда КПСС отмечено: "Ускорить внедрение автоматизированных методов и средств контроля качества и испытания продукции как составной части технологических процессов... Повысить технический уровень и качество продукции машиностроения... Разработать и осуществить мероприятия по повышению действенности систем контроля качества и технического уровня выпускаемой машиностроительной продукции".

Одной из важных задач является оценка качества конструкции станка при действии тепловых факторов с целью установления его точностных возможностей. Имеющиеся на сегодняшний день методы исследования тепловых деформаций станков не могут быть использованы для проведения сравнительной оценки качества конструкций станков при их испытаниях в связи с отсутствием объективных кри-



териев. Наличие таких критериев позволит производить объективную оценку и сравнение качества конструкции различных станков по тепловым деформациям, судить об эффективности применения методов уменьшения тепловых деформаций и др. С этих позиций разработка критерия оценки качества конструкции станков при действии тепловых факторов, являющаяся целью работы, актуальна.

Целью исследования является разработка критерия оценки качества конструкции металлорежущих станков при действии тепловых факторов.

Методы исследований. В работе использовались методы теории теплопроводности, теории вероятностей, теории надежности, численные методы математического анализа, методы технических измерений и диагностики, а также методы, разработанные в данной работе: метод установления однозначных функциональных зависимостей между деформациями конструкции станка и температурами характерных точек; метод установления допусков на отклонения размеров, формы и расположения обрабатываемых поверхностей по тепловым деформациям.

Разработанные методы базируются на использовании средств вычислительной техники, современной измерительной аппаратуры и специально спроектированных и изготовленных устройствах. Исследования проводились на токарном станке с ЧПУ модели 1Б61ПМ-ФЗ.

Научная новизна. Разработан критерий оценки качества конструкции металлорежущих станков при действии тепловых факторов, сформулированы содержание условий необходимости и достаточности, а также методы их получения при разработке критерия.

Практическая ценность. Разработанные методические положения по определению однозначных зависимостей между деформациями конструкции станка и температурами характерных точек и установление допусков на соответствующие отклонения по тепловым деформациям позволяют проводить: функциональное диагностирование теплового состояния станка; испытания станка по тепловым деформациям; определение величин предварительной коррекции положения рабочих органов станка с целью компенсации тепловых деформаций; ускоренной оценки результатов модернизации станков с позиций тепловых деформаций; оценки вероятности безотказной работы станка при действии тепловых факторов.

Реализация результатов. Проведенные исследования позволили разработать систему функционального диагностирования теплового состояния станка, методические положения по: испытанию станков

от воздействия тепловых факторов; компенсации тепловых деформаций; ускоренной оценке результатов модернизации и оценке вероятности безотказной работы станка при действии тепловых факторов.

Данные материалы диссертационной работы внедрены на машиностроительном предприятии. Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 26250 рублей.

Апробация работы. Результаты работы доложены на зональной научно-технической конференции "Эффективность комплексного применения оборудования с ЧПУ и САПР в машиностроении" г.Курган, 1984 г.; на научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана в 1982, 1983, 1984 гг. Полностью работа доложена на заседании вышеназванной кафедры 14 декабря 1984 года.

Публикация. По материалам диссертации опубликованы четыре печатных работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений, изложенных на 250 страницах. Содержит 116 страниц машинописного текста, 38 рисунков, 28 таблиц и список литературы из 109 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено состояние вопроса методов оценки тепловых деформаций металлорежущих станков; определены основные требования к разрабатываемому критерию; проведен анализ существующих критериев и их недостатков; обоснована необходимость его разработки; сформулированы задачи работы и проанализированы пути их решения; выбран объект исследования. Исследованию тепловых деформаций металлорежущих станков и методам их оценки посвящено значительное количество работ. К первым работам, где уделено серьезное внимание влиянию тепловых факторов на точность обработки, относятся исследования Н.А.Бородачёва, А.П.Соколовского, Ю.Н.Соколова, М.З.Лурье, А.С.Проникова, В.Э.Пуша, Н.Опитз и др. В последующих работах, проведенных в ЭНИМСе, МВТУ, ЛПИ, Аахенском техническом университете, Токийском институте точной механики и др., решение различных задач проводится двумя методами:

расчетным и экспериментальным.

Расчетными методами решаются задачи определения температурных полей и тепловых деформаций будущей конструкции; выбора лучшего конструктивного варианта узлов или станка в целом; установления методов уменьшения тепловых деформаций и др. В расчетных методах оценки тепловых деформаций станков достигнуты значительные успехи. Однако, несмотря на применение современных средств вычислительной техники, им присуща низкая точность, связанная со сложностью определения значений разных теплофизических параметров (коэффициенты теплоемкости, теплоотдачи и др.), трудностью учета многообразия форм конструкций станков, условий теплообмена, влияния СОЖ и тепла процесса резания и т.д. Указанные причины ограничивают, на сегодняшний день, практическую область их применения и обусловили распространение экспериментальных методов, которыми решаются задачи: установления характера температурных полей и тепловых деформаций; определения влияния внутренних и внешних источников тепла на тепловое состояние станка; установления влияния деформаций на точность обработки; разработки методов компенсации тепловых деформаций и др. Экспериментальные методы требуют много времени и больше затрат, чем расчетные. Однако без них нельзя обойтись, когда нужна более высокая точность исследований температур и деформаций конструкции станка, а также при проверке точности расчетных методов.

Кроме перечисленных задач, в настоящее время, существуют также и задачи сравнительной оценки качества конструкции различных станков при действии тепловых нагрузок. Возникновение таких задач вызвано дальнейшим усложнением конструкций, повышением степени автоматизации современных металлорежущих станков и ужесточением требований к их точности, которые в совокупности вызывают необходимость оценки точностных возможностей станка. Решение этих задач усложняется отсутствием объективных критериев качества конструкции станков при действии тепловых нагрузок и невозможностью применения существующих методов исследования тепловых деформаций для проведения требуемой оценки.

Известно, что критерием выполнения какого-либо утверждения является признак, необходимый и достаточный для этого утверждения. Необходимым условием для какого-либо утверждения (предложения, высказывания) является всякое утверждение, без которого

данное утверждение заведомо неверно, а достаточным условием истинности некоторого утверждения — всякое условие, из которого следует это утверждение.

С указанных позиций были проанализированы критерии, которые были предложены в работах И.И.Княжицкого, А.И.Смирнова, J. Schwank, K. Jacob и др. Анализ этих критериев, классифицируемых по характеру оценки на интегральные и дифференциальные, выявил ряд существенных недостатков и ограничений.

Интегральные критерии, оценивающие тепловое поведение всей конструкции станка, получены при его работе на холостых ходах и без учета температуры окружающей среды, тепловыделения процесса резания и т.д., что не соответствует реальным условиям эксплуатации. Дифференциальные же критерии оценивают различные частные тепловые свойства станка или его узлов: время тепловой стабилизации, степень нагрева отдельных деталей, устойчивость к тепловому заклиниванию шпиндельных опор и др.

Связь критериев с точностью обработки проявляется либо напрямую, либо косвенно, или вовсе отсутствует. Однако, даже при прямой связи с точностью обработки, перечисленные критерии не оценивают влияния тепловых деформаций конструкции станка на формирование отклонения формы и расположения обрабатываемых поверхностей.

Указанным критериям свойственны также и общие недостатки, которые ограничивают возможность их применения для однозначной оценки качества конструкции станков по тепловым деформациям. Общие недостатки рассмотренных критериев сводятся к тому, что: однозначность критериев может проявляться только лишь при определенных условиях или вовсе отсутствовать; значительное число критериев сложны в применении при сравнении различных конструкций и требует выработки дополнительных условий для однозначной их оценки; могут оценивать качество станка только при известных, ограниченных условиях его эксплуатации; применение критериев, полученных расчетными методами, для практических целей затруднено из-за сложности определения многих теплофизических параметров и т.д.

Поэтому на сегодняшний день существует необходимость разработки критериев, которые отвечали бы вышеприведенным требованиям и оценивали качество конструкции станка от воздействия раз-

личных внешних и внутренних источников тепловыделений независимо от вида теплового состояния станка, условий его эксплуатации и т.д.

На основании проведенного анализа для реализации поставленной цели работы были сформулированы следующие задачи:

- каким должно быть содержание условий необходимости и достаточности при разработке критерия применительно к оценке качества конструкции станка от действия тепловых факторов?

- за какими показателями станка необходимо следить в процессе исследования его тепловых деформаций, чтобы разрабатываемый критерий оценивал точностные возможности станка?

- какой показатель теплового состояния станка может быть выбран в качестве аргумента, однозначно отражающего результат действия источников тепловыделений на изменение точности взаимного положения формообразующих узлов?

- какой должна быть модель исследования теплового поведения станка, чтобы разрабатываемый критерий объективно и однозначно оценивал качество конструкции станка при действии тепловых факторов?

- какое метрологическое обеспечение необходимо иметь для получения критерия в условиях воздействия тепловых факторов на измерительные средства?

- каковы основные этапы получения критерия и правила принятия соответствующих решений для проведения оценки качества исследуемого станка от действия тепловых факторов?

- какова степень адекватности выбранной физической модели исследования реальному процессу протекания тепловых деформаций станка?

- какова область применения результатов исследования и какие практические рекомендации могут быть разработаны с целью улучшения качественных показателей станка?

Поставленные задачи могут быть решены расчетным или экспериментальным методами. Вышеприведенные недостатки расчетных методов обусловили выбор экспериментального метода решения поставленных задач. В качестве объекта исследования выбран токарный станок с ЧПУ модели IE6ПМ-ФЗ, имеющий высокую степень автоматизации и удовлетворяющий требованиям современного производства.

Вторая глава посвящена формулированию содержания условий

необходимости и достаточности, общих методических положений, необходимых при разработке критерия; разработке модели исследования и проверки ее адекватности; определению возможных областей практического применения результатов исследований.

(Необходимым условием для утверждения о качестве станка в отношении тепловых деформаций является необходимость установления допусков на отклонения размеров, формы и расположения обрабатываемых поверхностей и определение однозначных функциональных зависимостей между деформациями станка и его температурой. Установление допусков на соответствующие отклонения позволит провести оценку показателей качества обработки, обусловленные тепловыми деформациями, и точностных возможностей станка.) Определение же однозначных зависимостей между деформациями конструкции станка и его температурой вызвано тем, что использование в процессе разработки существующих критериев других параметров станка в качестве функций и аргументов явилось причиной невозможности однозначной оценки параметров качества обработки. Вышеприведенные условия необходимы, но не достаточны.

Достаточным же является выполнение условия, заключающегося в том, чтобы отношения приращений установленных функциональных зависимостей в области их определения к приращениям соответствующих температурных аргументов не превышали допустимых значений. Выбор такого условия в качестве достаточного вызван тем, что указанное отношение выражает физическое свойство конструкции сопротивляться изменению взаимного положения узлов при изменении его температуры на 1°C . Отсюда вытекает, что чем меньше величина этого отношения в области определения функции, тем конструкция станка менее подвержена тепловым деформациям.

Определение в работе общих положений, необходимых для получения критерия, начата с анализа методов установления допусков на соответствующие отклонения по тепловым деформациям. Выбор этих методов зависит от наличия соответствующего объема информации о величине доли тепловых деформаций в общем балансе погрешности обработки, которая, для станка модели ИБПМ-43, согласно ранее проведенным исследованиям, составляет четвертую часть. Поэтому определение допусков на размеры ($\Delta T_{\text{г}}$) форму ($\Delta T_{\text{ф}}$) и расположение ($\Delta T_{\text{р}}$) поверхностей по тепловым деформациям в настоящей работе производится по выражениям: $\Delta T_{\text{г}} =$

$$= 0,25 \text{ IT}_{\text{гост}} , \quad T_{\text{ф.тг.}} = 0,25 T_{\text{ф.гост}} , \quad T_{\text{р.тг.}} = 0,25 T_{\text{р.гост}} .$$

Для установления функциональных зависимостей, отвечающих требованиям однозначности, непрерывности и монотонности в области определения, в качестве функции выбраны такие показатели станка, изменение которых под воздействием тепловых факторов приводило бы к образованию погрешностей обработки, не зависящих от других элементов технологической системы (инструмента, заготовки, приспособления и др.). Был произведен анализ возможных отклонений размеров, формы и расположения поверхностей изделия, возникающих в процессе обработки на различных станках из-за изменения точности взаимного положения формообразующих узлов. Такой анализ показал, что указанные отклонения возникают вследствие изменения пяти показателей, характеризующих точность взаимного положения оси шпинделя и направляющих станка. Такими показателями являются смещения оси шпинделя относительно направляющих по координатам (δ_x , δ_y , δ_z) и ее повороты в горизонтальной (φ_x) и вертикальной (φ_y) плоскостях. В качестве аргументов выбраны значения температур в характерных точках, которые должны реагировать на изменение тепловых воздействий (не более $0,1^\circ\text{C}$); однозначно характеризовать деформации станка; иметь достаточно высокое значение для обеспечения стабильности ее измерения. На основании установленных функциональных зависимостей между выбранными показателями станка и температурными аргументами в виде $\delta_x = f(t_x)$, $\delta_y = g(t_y)$, $\delta_z = \psi(t_z)$, $\varphi_x = \eta(t_{\varphi_x})$, $\varphi_y = \zeta(t_{\varphi_y})$, возможно произвести определение условия достаточности из выражений: $K_x \leq [K_x]$, $K_y \leq [K_y]$, $K_z \leq [K_z]$, $K_{\varphi_x} \leq [K_{\varphi_x}]$, $K_{\varphi_y} \leq [K_{\varphi_y}]$, где K_x , K_y , K_z , K_{φ_x} , K_{φ_y} — отношения приращений функций к соответствующим приращениям аргументов; $[K_x]$, $[K_y]$, $[K_z]$, $[K_{\varphi_x}]$, $[K_{\varphi_y}]$ — соответственно их допускаемые значения. Если удовлетворяются условия необходимости и величина отношения приращений функций к приращениям температурных аргументов не превышает допустимых значений, то станок в отношении тепловых деформаций признается годным, в противном случае — нет.

Разработка физической модели исследования включает в себя выбор условий, режимов и способов теплового нагружения исследуемого станка. Для обеспечения поставленных требований к модели исследования было установлено, что оценку станка можно с определенной степенью достоверности проводить при непрерывном режи-

ме его работы, в условиях теплового нагружения, имеющих место при его работе на черновых, получистовых и чистовых режимах с учетом действия температуры окружающей среды. В качестве способа теплового нагружения можно использовать метод имитации тепловыделения в зоне резания.

Приведенные в работе общие методические положения включают также разработку методов установления температурных аргументов, построения искоемых функциональных зависимостей, а также определение допускаемых значений параметров $[K_x]$, $[K_y]$, $[K_z]$, $[K_{\varphi_x}]$, $[K_{\varphi_y}]$, применение которых показано в четвертой главе работы.

В заключении главы приводится метод проверки соответствия выбранной модели исследования реальному процессу теплового нагружения станка.

В третьей главе приводятся принципы построения структуры и разработки автоматизированной измерительной системы, обеспечивающей многоточечное измерение температур и смещений оси шпинделя относительно направляющих в условиях теплового нагружения станка.

Определяющим в выборе структуры измерительной системы явился принцип измерения сигнала, вырабатываемой первичным преобразователем. Наиболее точными в отношении автоматизации измерения температур и деформаций являются те первичные преобразователи, которые вырабатывают измерительный сигнал в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения. В качестве термопреобразователей были выбраны хромель - копелевые термоэлектрические термометры типа ТХК ГОСТ 3044-74 для измерения температур конструкции станка и терморезисторы типа ММТ-40 I кОм $\pm 20\%$ ГОСТ 10688-75, герметичная конструкция которых позволила использовать их для измерения температур жидких сред. Для измерения же деформаций было изготовлено десятиканальное измерительное устройство с использованием вихретоковых преобразователей, которые размещались на специальной оснастке. Термосимметричность конструкции оснастки обеспечила исключение влияния её тепловых деформаций на результаты измерения σ_x , φ_x . Влияние тепловых удлинений измерительных оправок на результаты измерения смещений исключено применением стержней из кварцевого стекла. Кроме того, опыт работы показал возможность ее примене-

ния при перепадах температуры в зоне измерения от $+10$ до $+50$ °C, непрерывной работы в течении 12-и часов.

Измерения сигналов с выбранных первичных преобразователей осуществлялись цифровыми интегрирующими вольтметрами, информация от которых в двоично-десятичном коде поступает в соответствующей последовательности через интерфейс в микро-ЭВМ, которая производит полный цикл расчета значений температур и деформаций с последующей выдачей результатов на печатающее устройство.

Для исключения влияния тепловых факторов на результаты измерения, экспериментальным путем были установлены температурные характеристики для десятиканального измерительного устройства, вихретоковых преобразователей, термоэлектрических термометров при изменении температуры их свободных концов, а также уравнения для коррекции результатов измерения ($\delta\epsilon$; ϵ_y) от изменения температуры оснастки. Указанные характеристики были введены в память микро-ЭВМ, по которым машина производит соответствующие коррекции результатов измерения. Такое автоматическое введение поправки на результаты измерения, достигаемое программным обеспечением, дает необходимую быстроту и адекватность реакции измерительной системы на действие тепловых факторов. Использование вычислительной техники и цифровых методов измерения позволили решить проблемы, связанные с нелинейностью функции преобразования и разбросом основных параметров терморезисторов.

В заключении главы приводится определение погрешностей измерения температур и деформаций, которые соответственно составили ± 1 мкм, $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ рад. и $\pm 0,1$ °C с $P = 0,99$.

В четвертой главе приводится экспериментальная оценка качества исследуемого станка модели **1Б6ПМ-43** при действии тепловых факторов, на основании разработанных во второй главе теоретических положений.

Оценка качества станка проводилась в следующей последовательности.

На первом этапе осуществляется анализ источников тепловыделений станка с целью выявления тех источников, которые существенно и в течении длительного времени могут влиять на тепловое состояние станка.

На втором этапе проводится исследование процесса передачи тепловой энергии от источников, с целью установления наиболее интенсивно подвергаемых нагреву узлов станка.

На основании проведенного анализа производится предварительная расстановка термопреобразователей, являющаяся содержанием третьего этапа. На этом этапе производится также установка на станке средств измерений деформаций и подготовка измерительной системы к работе.

Четвертый этап включает в себя проведение измерений выбранных показателей и температур конструкции станка в установленных точках при непрерывной, шестичасовой работе станка на следующих частотах вращения шпинделя: 35,5 (3), 90 (3), 180 (2), 450 (2), 900 (1), 1800 (1). В скобках указаны соответствующие количества включаемых нагревательных элементов при имитации тепловыделения в зоне резания (мощность одного нагревателя составляет 600 Вт).

Целью пятого этапа является установление, на основе полученных экспериментальных данных, тех зон на конструкции станка, где предположительно могут находиться характерные точки.

После установления зон, производится поиск конкретного расположения характерных точек исходя из требования к однозначности функциональных зависимостей между деформациями и температурами характерных точек.

На шестом этапе производится определение функциональных зависимостей, отвечающих требованиям однозначности, монотонности и непрерывности.

Для исследуемого станка получены следующие функциональные зависимости:

$$\delta_x = 1,3 t_x + 40,6 \quad \text{при} \quad -25,3 \leq t_x \leq -17,0$$

$$\delta_y = 22,4 t_y + 607,8 \quad \text{при} \quad -27,0 \leq t_y \leq -18,0$$

$$\delta_z = 4,9 t_z + 6,8 \quad \text{при} \quad -4,0 \leq t_z \leq 16,0$$

$$\varphi_x = -(0,9 t_{\varphi_x} + 28,4) \cdot 10^{-5} \quad \text{при} \quad -26,0 \leq t_{\varphi_x} \leq -17,2$$

$$\varphi_y = (17,7 t_{\varphi_y} - 463,4) \cdot 10^{-5} \quad \text{при} \quad 24,0 \leq t_{\varphi_y} \leq 36,0$$

где $t_x = t_{21} - t_{18} - t_{10} + t_9 - t_{v2}$; $t_y = t_1 - t_{17} - t_{20} + t_{15} - t_{v2}$;
 $t_z = t_{11} - t_{14} + t_3 - t_{v2}$; $t_{\varphi_x} = t_{14} - t_v - t_{v2}$; $t_{\varphi_y} = t_2 - t_8 + t_{v2}$

соответствующие температурные аргументы, состоящие из значений температур в 14-ти характерных точках конструкции станка и температуры окружающей среды ($t_{\psi 2}$).

На этом этапе исследования была проверена адекватность выбранной физической модели исследования реальному процессу работы станка. Для этого была обработана партия из 10 деталей, при котором измерялись значения температур в характерных точках и рассчитывались значения температурных аргументов. Различие между температурными аргументами по сравнению с имитацией процесса тепловыделения не превышает допустимого значения, равного 20%.

Определение отношений приращения функций к приращениям соответствующих аргументов в области определения функций составляет содержание седьмого этапа. Для исследуемого станка установлены следующие значения этих отношений: $K_x = 1,3$; $K_y = 22,4$; $K_z = 4,9 \text{ мкм}/^\circ\text{C}$; $K_{\psi x} = -0,9 \cdot 10^{-5}$; $K_{\psi y} = 17,7 \cdot 10^{-5} \text{ рад}/^\circ\text{C}$. При принятии указанных значений за допустимые, т.е. $K_x = [K_x]$, $K_y = [K_y]$, $K_z = [K_z]$, $K_{\psi x} = [K_{\psi x}]$, $K_{\psi y} = [K_{\psi y}]$, исследуемый станок обеспечивает точность обработки размеров по координате X грубее II-го качества, по координате Y - I7-го качества, по координате Z - I5-го качества. Точность формы обрабатываемых поверхностей с II-й степени точности, точность расположения - с I0-й.

В заключении главы дается метод установления тех допустимых значений $[K_x]$, $[K_y]$, $[K_z]$, $[K_{\psi x}]$, $[K_{\psi y}]$, при которых станок обеспечивает точность размеров не грубее, чем по заданному j -му качеству и точность формы и расположения обрабатываемых поверхностей не грубее, чем по заданной i -той степени точности.

Пятая глава посвящена вопросам практического применения результатов исследования.

Условия однозначности и непрерывности установленных функциональных зависимостей дают возможность их применения для разработки системы функционального диагностирования. Если каждому значению температурных аргументов будет соответствовать определенное положение шпинделя станка, то контролируя значения этих аргументов в процессе работы станка, можно устанавливать правильность функционирования станка. Такой анализ позволил разработать систему диагностирования на основе многоточечного авто-

матического потенциометра типа КСП-4, который имеет возможность постоянно оценивать и сравнивать значения параметров с допускаемыми до тех пор, пока эти значения находятся в области допускаемых границ. На появление значений, выпадающих из этой области, срабатывает сигнализация, коммутируемая по каждому каналу измерения. В простейшем случае эту реакцию можно свести к отключению станка.

В работе приводится методика исследовательских испытаний станков на воздействие тепловых факторов. Содержание методики отвечает общим требованиям руководящего нормативного документа РД 50-360-82 и основывается на использовании разработанных методов получения однозначных функциональных зависимостей между выбранными показателями станка и температурами его характерных точек и методов определения допусков на соответствующие отклонения по тепловым деформациям. Установленные соответствующим образом допускаемые значения параметров $[K_x]$, $[K_y]$, $[K_z]$, $[K_{\varphi_x}]$, $[K_{\varphi_y}]$ принимаются в качестве исходных при сравнении с ними таких же параметров других испытуемых станков тех же моделей. Если установленные параметры станка удовлетворяют условиям вида $K_x \leq [K_x]$, $K_y \leq [K_y]$, $K_z \leq [K_z]$, $K_{\varphi_x} \leq [K_{\varphi_x}]$, $K_{\varphi_y} \leq [K_{\varphi_y}]$, то дается заключение о годности станка и возможности его предъявления к другим видам испытаний: контрольным, сравнительным, приемосдаточным и др.

Из практики эксплуатации известно, что при работе станка, после его разогрева, ось шпинделя изменяет свое положение. Поэтому, если до запуска станка в эксплуатацию осуществить предварительную коррекцию положения оси шпинделя относительно направляющих, то по мере разогрева станка ось шпинделя будет приближаться к требуемому положению, что приведет к снижению погрешности обработки. Установление величин коррекции осуществляется на основе однозначных функциональных зависимостей и закона распределения соответствующих температурных аргументов, определение которого производится в зависимости от имеющейся информации о возможном характере тепловых нагрузок станка встречающийся в процессе его эксплуатации.

Ускоренную оценку результатов применения различных способов уменьшения влияния тепловых деформаций на точность обработки можно произвести следующим образом. Зная исходные функцио-

нальные зависимости и допускаемые значения параметров $[K_x]$, $[K_y]$, $[K_z]$, $[K_{\varphi_x}]$, $[K_{\varphi_y}]$, можно произвести определенную модернизацию, после этого вновь установить функциональные зависимости, определить значение параметров K_x , K_y , K_z , K_{φ_x} , K_{φ_y} и сравнить их с допускаемыми значениями. Если вновь полученные значения параметров K_x , K_y , K_z , K_{φ_x} , K_{φ_y} окажутся меньше, чем до модернизации станка, то применение данного способа уменьшения тепловых деформаций будет приемлемым.

В заключении главы приводится метод оценки вероятности безотказной работы станка при действии тепловых факторов.

ВЫВОДЫ

1. Введение условий необходимости и достаточности, а также определение их содержания при разработке критерия дали возможность проведения оценки качества конструкции различных станков при действии тепловых факторов.

2. Разработанный метод выбора показателей станка, характеризующих точность взаимного положения его формообразующих узлов, позволяет устанавливать связь между разрабатываемым критерием и показателями качества обработки, что обеспечивает проведение сравнительной оценки точностных возможностей станков при действии тепловых факторов.

3. Разработанный метод установления характерных точек изменения температуры, взятых в качестве температурного аргумента, дает возможность получения однозначных функциональных зависимостей между деформациями конструкции станка и температурами характерных точек, необходимых для разработки критерия.

4. Разработанная физическая модель исследования тепловых деформаций станков, основывающаяся на анализе и выборе условий, режимов и способов теплового нагружения станка, позволяет проводить объективную и однозначную оценку качества конструкций станков от действия тепловых факторов.

5. Разработанный принцип построения измерительной системы с автоматическим введением поправки на результаты измерения обеспечивает необходимую быстроту и адекватность ее реакции на действие тепловых факторов, что дает возможность применения системы в процессе исследования тепловых деформаций станков с учетом колебаний температуры окружающей среды и выделения тепла

в зоне измерения. Погрешность измерения деформаций и температур соответственно составляет $\pm 1,0$ мкм; $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ рад.; $\pm 0,1$ °С с $P = 0,99$.

6. Разработанный метод цифрового измерения сопротивления терморезисторов с использованием средств вычислительной техники позволяет решить проблемы, связанные с нелинейностью функции преобразования и значительным разбросом их основных параметров, и задачу взаимозаменяемости терморезисторов в схемах измерения температур.

7. Использование свойств однозначности установленных функциональных зависимостей дала возможность разработки системы функционального диагностирования теплового состояния станка. Для исследуемого станка установлены следующие пределы изменения температурных аргументов: $-25,3 \leq t_x \leq -21,8$; $-26,5 \leq t_y \leq -26,2$; $-1,4 \leq t_z \leq 0,4$; $-26,5 \leq t_{\varphi_x} \leq -23,2$, при которых станок обеспечивает соответственно точность размеров, формирующихся по координатам X, Y, Z с 9-го качества, точность формы и расположения обрабатываемых поверхностей с 8-й степени точности.

8. На основе методов установления однозначных функциональных зависимостей и определения допусков на соответствующие отклонения по тепловым деформациям разработана типовая методика проведения исследовательских испытаний станков по тепловым деформациям.

9. Показано, что на основании полученных однозначных функциональных зависимостей можно определить величины предварительной коррекции положения рабочих органов с целью компенсации тепловых деформаций станка в процессе его эксплуатации.

10. Определение для исследуемого станка функциональных зависимостей и допускаемых значений параметров $[K_x], [K_y], [K_z], [K_{\varphi_x}], [K_{\varphi_y}]$ позволяет проводить ускоренную оценку результатов модернизации с точки зрения уменьшения тепловых деформаций. Так, при исходных значениях $K_x = 1,3$; $K_y = 22,4$; $K_z = 4,9$ мкм/°С; $K_{\varphi_x} = -0,9 \cdot 10^{-5}$; $K_{\varphi_y} = 17,7 \cdot 10^{-5}$ рад/°С, после выноса двигателей насосов подачи СОЖ и соответствующих емкостей, а также теплоизоляции поверхности станины, на которую попадает стружка, были получены следующие результаты: $K_x = 7,8$; $K_y = 22,5$; $K_z = 6,3$ мкм/°С; $K_{\varphi_x} = 0,5 \cdot 10^{-5}$; $K_{\varphi_y} = 8,9 \cdot 10^{-5}$ рад/°С.

II. Использование полученных однозначных функциональных

зависимостей возможно и для проведения оценки вероятности безотказной работы станка по всем пяти выбранным показателям при действии тепловых факторов. Так, данный станок обеспечивает точность расположения обрабатываемых поверхностей с вероятностью $P(\delta_x) = 0,9985$ только с 10-й степени точности. Обработка же с 8-й степени точности возможна с $P(\delta_x) = 0,6794$.

12. Сжидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанных методик и системы функционального диагностирования теплового состояния станков с ЧПУ составляет 26250 рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Хачатрян А.С. Применение терморезисторов при измерении температуры. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1984, № 9, с. 63-64.

2. Дмитриев Б.М., Хачатрян А.С., Борисов С.Г. Система многоточечного измерения температуры. - Механизация и автоматизация производства, 1984, № 7, с. 24-25.

3. Хачатрян А.С., Барданян Г.М. Имитация процесса теплообработки в зоне резания при испытании станков. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1985, № 3, с. 127-130.

4. Дмитриев Б.М., Хачатрян А.С., Байдаков А.М. Использование характеристики теплового сопротивления станка для повышения точностной надежности. - Эффективность комплексного применения оборудования с ЧПУ и САПР в машиностроении: Тез. докл. зональной научно-техн. конф. - Курган, 1984, с. 36-38.

Хачатрян