

М488314

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ имени Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ВАРИАНТ Гагик Маргарович

УДК 621.91.01:536.2.02.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И РАЗРАБОТКА
МЕТОДА РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ
ТЕПЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СТАНКА

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 - 1989 г.



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

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

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

- кандидат технических наук
АВДЕЕВ В.Б.

Ведущая организация - указана в решении специализированного
Совета

Защита диссертации состоится "29" мая 1989 г. на заседании специализированного Совета К 053.15.15 в Московском высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана по адресу:
107006, Москва, В-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

Ваш _____
печать _____

Автор _____

И.о.
докт
доце

СКИЙ П.М.

Подп.

Объем _____

И 488814

349
фия МВТУ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы. Одним из главных направлений ускорения научно-технического прогресса в народном хозяйстве является автоматизация технологических процессов на основе применения станков с ЧПУ. Современные станки характеризуются широкими технологическими возможностями, высокой степенью автоматизации и энергоемкости, доля машинного времени которых достигает 70-90%. Это приводит к снижению точности обработки ввиду более интенсивного воздействия нагрузок на их механизмы, увеличения вибраций, износа, повышения тепловыделений. В этих станках до 50% энергии, подводимой к станку, рассеивается вследствие электрических и механических потерь и превращается в тепловую, увеличивая теплонапряженность конструкции. Тепловые деформации в общем балансе погрешностей обработки являются наиболее существенными, доля которых по литературным данным составляет 30-70%. Вследствие постоянного роста требований, предъявляемых к точности обработки деталей, а также в результате возрастания степени автоматизации работы станка, влияние тепловых деформаций стало особо ощутимым и превратилось в фактор, с которым нельзя не считаться.

Дальнейшее усложнение конструкций и возрастание степени автоматизации станков с ЧПУ с одной стороны, постоянно повышающиеся требования к точности выпускаемой продукции с другой стороны, вызывают необходимость разработки эффективных методов для повышения качества выпускаемых станков. В решениях XXVII съезда КПСС отмечено: "...Повысить технический уровень и качество продукции машиностроения". "Существенно расширить выпуск станков высокой и особо высокой точности", -указано в проекте "Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года". Одной из основных задач при этом является разработка методов уменьшения влияния тепловых процессов на качество станков с целью повышения точности обрабатываемых деталей. Для получения достоверных результатов, эти методы необходимо разрабатывать с комплексным учетом многочисленных факторов, приводящих к их появлению. Задача состоит в разработке методов не только эффективных, но и экономичных. С этой точки зрения предпочтительно не столько оборудование станков специальными устройствами компенсации деформаций, сколько

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1488814

Варданын Г. М. Исследование

принятие мер уже на стадии конструирования и испытания опытного образца. Это означает не только применение специальных кинематических схем и элементов конструкции при проектировании станка, а принципиальный подход к проектированию и расчету с учетом тепловых деформаций. Существующие методы снижения влияния тепловых деформаций на точность станка имеют следующие недостатки: приводят к ухудшению других параметров станка /жесткость, виброустойчивость и др./; рассматривают влияние отдельных факторов; связаны с существенными дополнительными затратами; усложняют конструкцию станка.

В связи с этим, разработка метода повышения точности станка с минимальными затратами, без ухудшения других показателей станка и с комплексным учетом всех факторов, приводящих к тепловым деформациям, является актуальной.

Данная работа проводилась в рамках научно-технической программы "Надежность", утвержденной АН и ГКНТ СССР от 07.05.87.

Целью работы является разработка метода повышения качества станка путем уменьшения его тепловых деформаций при условии сохранения других показателей точности /жесткость, виброустойчивость и др./ на исходном уровне и с минимальными затратами.

Методы исследований. При исследованиях использовались теоретические и экспериментальные методы. Применялись методы теории надежности, методы технических измерений, численные методы математического анализа, программный метод испытания станков, а также методы, разработанные в данной работе: метод анализа воздействий источников тепла, установления критерия оценки повышения качества станка, имитации процесса тепловыделения в зоне резания при испытании станков. Разработанные методы базируются на использовании средств автоматизации проведения эксперимента - вычислительной техники и современной измерительной аппаратуры, а также специально спроектированных и изготовленных устройствах.

Научная новизна. Разработан метод повышения точности станка на основе анализа воздействий источников тепла на конструкцию станка и выявления механизма взаимного влияния источников тепла на окружающую среду и окружающей среды на конструкцию станка.

Практическая ценность. Использование разработанного метода дает возможность уменьшить величину тепловых деформаций станка за счет рационального расположения его источников тепла на

40-50%, что приводит к повышению точности обрабатываемых на нем деталей, как минимум, на одну степень /кавалитет/.

Реализация результатов работы. Практические рекомендации по повышению качества станка приняты к внедрению на Московском станкостроительном заводе "Красный пролетарий". Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 31520 рублей.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научно-технической конференции "Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства промышленности" - г.Курган, 1986 г. и на научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана в 1985, 1986, 1987 гг. Полностью работа доложена на заседании вышеназванной кафедры 2 декабря 1987 года.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы три печатные работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы из 109 наименований и приложений. Содержит 125 страниц основного текста, 30 рисунков, 18 таблиц.

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; проведен анализ существующих методов снижения влияния тепловых процессов на точность и их недостатков; обоснована необходимость разработки метода повышения качества станка; сформулированы задачи работы и проанализированы пути их решения; выбран объект исследования.

Исследованию тепловых деформаций металлорежущих станков посвящено значительное количество работ. Первые работы, посвященные исследованию тепловых процессов в металлорежущих станках, были проведены Г.Шлезингером в начале 30-х годов. С начала 50-х годов этой проблеме уделяется серьезное внимание. К наиболее ранним работам можно отнести исследования: советских ученых Н.А.Бородачева, Б.Т.Бреева, А.П.Соколовского, В.Э.Смирнова и Д.Н.Решетова; зарубежных ученых М.Кроненберг, Дж.Петри, Г.Дема-

рез и др. В настоящее время задачами влияния тепловых процессов на точность станка занимаются в ЭНИИМСе, МВТУ, Станкине, ЛПИ, Киотском, Токийском, Тибском университетах /Япония/, Аахенском и Берлинском университетах, Вроцлавском университете и др. Исследования проводятся под руководством таких ученых, как Д.Н.Соколов, А.С.Проников, В.Э.Пуш, К.Окушима и Е.Какино, Т.Сата и И.Такеучи, Я.Банк, Й.Недзевски и др.

Разработано множество способов и средств для уменьшения деформаций при воздействии тепловых процессов. Решение задач, связанных с исследованиями влияния тепловых процессов на точность станка, производится двумя методами: расчетным и экспериментальным. В настоящее время расчетными методами решаются задачи определения температурных полей и деформаций узлов и деталей металлорежущих станков, которые являются важным средством анализа при создании станков, позволяющий выбрать лучший конструктивный вариант и определить наиболее благоприятные условия работы.

Проведенный обзор расчетных методов решения задач показал, что, несмотря на применение современных средств вычислительной техники, им присуща низкая точность, связанная со сложностью определения действительных значений различных теплофизических параметров, трудность учета многообразия форм и конфигураций элементов конструкции станка, а также условий теплообмена и эксплуатации.

Экспериментальные работы по исследованию металлорежущих станков при воздействии тепловых процессов, по однородности решаемых задач, можно подразделить на следующие группы: исследование температурных полей и деформаций узлов станка; определение влияния теплового режима станка на точность обработки деталей; определение влияния различных источников тепла на поведение станка и разработка методов снижения тепловых деформаций.

Обзор экспериментальных методов показал, что эти методы имеют ряд недостатков: приводят к ухудшению других показателей точности станка /жесткость, виброустойчивость и др./; рассматривают влияние отдельных факторов; усложняют конструкцию станка. Исследования по нахождению рациональной компоновки источников тепла станка с учетом их комплексного воздействия позволило бы на стадии испытания опытного образца дать конструкторские рекомендации по расположению переставляемых источников /которые не связаны с кинематикой обработки/, что не приводит к ухудшению других пока-

зателей точности станка и не связано с дополнительными затратами на конструкторские разработки.

С указанных позиций были проанализированы методы, предложенные в работах Л.Г.Рейдмана, японских ученых под руководством К.Окушима и др., связанных с оптимизацией /рационализацией/ структуры и расположения источников тепла станка.

Проведенный анализ этих работ показал, что как расчетные, так и экспериментальные исследования имеют ряд существенных недостатков, указанных выше. Поэтому на сегодняшний день существует необходимость разработки метода уменьшения тепловых деформаций, при котором не изменялись бы другие показатели точности станка. Такой метод может быть разработан при исследованиях, связанных с рационализацией структуры и расположения источников тепла станка, при котором должен быть проведен комплексный учет воздействий всех внешних и внутренних источников тепла.

Задачи исследований могут быть решены расчетным и экспериментальными методами. Учитывая недостатки расчетных методов, для обеспечения высокой точности результатов исследований, выбран экспериментальный метод решения задач.

На основании проведенного анализа для реализации поставленной цели сформулированы следующие задачи: определить показатели станка, характеризующие его точностные возможности при исследованиях тепловых процессов; установить критерий оценки повышения качества станка; разработать модель исследования для оценки качества станка при действии тепловых процессов; определить основные этапы разработки метода повышения качества станка; разработать методы и средства для получения объективной и достоверной информации о протекающих в станке процессах; разработать практические рекомендации для повышения качества станка по тепловым деформациям.

В качестве объекта исследования выбран токарный станок с ЧПУ модели УТ16-ФЗ, обладающий высокой степенью автоматизации обработки.

Вторая глава посвящена разработке методических полпжений, необходимых при проведении работы, включающие: определение показателей станка, характеризующие его точностные возможности; установление критерия оценки повышения качества станка; разработка модели исследования; анализ механизма формирования тепловых деформаций и установление основных этапов разработки метода повы-

шения качества станка.

Для металлорежущих станков при оценке их качества основную роль играют показатели, связанные с точностью поверхностей обрабатываемых на них деталей. Для оценки качества станка выбраны такие показатели, изменение которых под воздействием тепловых процессов приводит к образованию погрешностей обработки, не зависящих от других элементов технологической системы /инструмента, заготовки, приспособления и др./. Проведенный анализ возможных отклонений размеров, формы и расположения поверхностей деталей показал, что указанные отклонения возникают вследствие изменения пяти показателей, характеризующих точность взаимного расположения оси шпинделя и направляющих станка. Такими показателями выбраны: смещения полюса в пространстве $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ /и углы поворота оси шпинделя в горизонтальной и вертикальной плоскостях φ_1, φ_2 /. Под полюсом подразумевается воображаемая точка пересечения оси шпинделя с плоскостью фланца. Эти показатели рассматриваются в системе координат, начало которой находится на пересечении оси шпинделя и фланца пиноли задней бабки.

Точность обработки деталей зависит от различных показателей точности станка: геометрическая точность, виброустойчивость, тепловые деформации, износостойкость. Каждый из этих показателей вносит определенную долю в общий баланс погрешностей обработки. Анализ проведенных исследований по определению доли тепловых деформаций в общем балансе погрешности обработки позволил определить допуски на размер $IT_{т.д.}$ /форму $T_{ф.т.д.}$ / и расположение $T_{р.т.д.}$ / поверхностей по тепловым деформациям, которые в настоящей работе производится по выражениям:

$$IT_{т.д.} = 0,25 IT; T_{ф.т.д.} = 0,25 T_{ф.}; T_{р.т.д.} = 0,25 T_{р.}$$

При проведении работы можно повысить точность станка на различную величину, но не любое повышение можно считать за успех. В связи с этим разработан критерий оценки повышения качества станка. Известно, что критерием выполнения какого-либо утверждения является признак, необходимый и достаточный для этого утверждения. Необходимым условием для утверждения о повышении качества станка является повышение точности обрабатываемых на нем деталей. Достаточным же является повышение точности обработки, как минимум, на одну степень по отклонению формы и расположения и на один квалитет по отклонению размера. Если после проведения мероприятий удовлетворяются поставленные условия, то

можно утверждать о повышении качества станка.

Приведенные положения определяют подготовительную часть работы, в результате которой определены: показатели станка, за которыми необходимо следить; их величину на исследуемом станке и величину, к которой необходимо стремиться; критерий оценки результатов исследования.

Следующая часть работы связана с разработкой методических положений для достижения поставленной цели. Некоторые из них не требуют доказательств, как не противоречащие физическим принципам, а другие положения, выдвинутые в качестве основных, требуют их доказательств.

При выборе физической модели исследования проанализированы воззрения различных авторов на формирование тепловых деформаций, а также проведены собственные предварительные исследования, в результате которого выработана следующая схема выбора. Конструкция станка - сложное изделие, состоящее из значительного количества деталей, изготовленных из различных материалов, с большим числом стыков. Источники тепла станка расположены в различных частях, имеют различную мощность. Кроме того источники тепла могут быть кинематически связанными или не связанными с процессом обработки. В станке выявлено двенадцать источников тепла. Выработан критерий учета влияния источника тепла на точность станка в виде приведенного коэффициента $/\eta/$ по потребляемой мощности, продолжительности работы, габаритным размерам источника. Если $\eta > 1$, то источник включается в модель исследования, в противном случае учет их влияния производится через окружающую среду. При анализе источника "зона резания" используется типовая деталь. Следует отметить, что зона резания при исследованиях занята измерительными средствами и для воспроизведения выделения тепла в этой зоне используется нагревательное устройство с автоматическим регулированием тепла по программе обработки типовой детали. При проведении исследований рассматриваются семь основных источников тепла /в том числе "зона резания" с применением СОЖ/ с изменением режимов их работы согласно программе обработки типовой детали.

Воздействие источников тепла при работе станка приводит к определенным по величине и направлению суммарным деформациям. В суммарные деформации каждый источник тепла вносит свою определенную долю как по величине, так и по направлению в зависимости

ти от технических характеристик и места расположения. Тепло от каждого источника во время работы станка разделяется на два потока. Одна часть поступает в конструкцию станка и в силу известных причин приводит к её деформациям. Другая часть тепла уходит из конструкции станка в окружающую среду. В силу того, что теплопроводность воздуха в десятки раз меньше теплопроводности металла, то вокруг конструкции станка образуется слой воздуха, имеющий более высокую температуру, чем температура помещения. В этом случае окружающую среду можно разделить на три составляющие среды: макросреду - воздушный объем помещения, где расположен станок; "техническую" среду - объем воздуха, который непосредственно прилегает к конструкции, через который происходит интенсивный теплообмен от конструкции в макросреду и наоборот; микросреду - отдельные объемы воздуха во внутренних полостях станка, которые формируют тепловое состояние конструкции станка. С увеличением тепла, поступающей из микросреды, "техническая" среда увеличивается в размерах и сама производит нагрев конструкции станка, что, в свою очередь, приводит к дополнительным деформациям. "Техническая" среда расположена в макросреде и находится в определенных связях как с конструкцией станка, так и с макросредой.

Существует множество работ, особенно с использованием расчетных методов, в которых применяется принцип суперпозиции. В этих же работах отмечается несовпадение экспериментальных и расчетных данных. Для того, чтобы воспользоваться этим принципом необходимо знать какую долю вносит каждый источник в суммарную величину тепловых деформаций. В экспериментальную часть работы входит выявление воздействий каждого источника в отдельности и в различных сочетаниях, вплоть до воздействия всех источников тепла одновременно. Проведенные в работе исследования позволили выдвинуть положение о том, что принцип суперпозиции действует в пределах конструкции станка, без учета "технической" среды, которая имеет особое воздействие. В работе разработан метод учета этого свойства "технической" среды.

Каждый источник тепла имеет определенные технические характеристики и определенное расположение в конструкции станка. Изменение температуры источников тепла во время их работы приводит к изменению температуры, как окружающей среды, так и конструкции станка, тем самым они оказывают двойное воздействие на положение оси шпинделя - через конструкцию станка и через "техническую" среду.

Одинаковое изменение температуры источников тепла могут привести к различным величинам тепловых деформаций в зависимости от их расположения в конструкции станка.

Качественное положение о том, что часть тепла от источника деформирует конструкцию станка, а часть уходит в "техническую" среду, в работе доведено до количественных соотношений. Это соотношение выражено через безразмерный коэффициент α , который при исследованиях воздействий, как отдельного источника, так и в различных сочетаниях имеет устойчивый характер / $\alpha = 0,4$ /. Следующее положение состоит в том, что каждый источник тепла имеет определенное геометрическое положение, и от этого положения зависит, как величина, так и направление деформаций от воздействия этого источника. Этот факт нашел доказательство в работе и является основой управляющих воздействий. Зная суммарные деформации и степень воздействия каждого источника, и, имея данные об изменении величины и направления деформаций от источников, которые можно переставлять в конструкции /кинематически не связанных с процессом обработки/, появляется возможность целенаправленных действий по уменьшению величин суммарных деформаций.

Таким образом, анализ механизма формирования тепловых деформаций конструкции станка позволил наметить основные этапы метода повышения качества станка, заключающиеся в следующем:

- определение доли воздействия каждого источника тепла в отдельности в суммарной величине тепловых деформаций;
- определение механизма взаимного воздействия источников тепла на окружающую среду и окружающей среды на конструкцию станка;
- определение соотношения распределения тепла, выделяемого источниками, между окружающей средой и конструкцией станка;
- определение степени воздействия источников тепла на положение оси шпинделя в зависимости от их геометрического расположения в конструкции станка;
- определение практических мероприятий по повышению качества станка.

Для реализации поставленных задач необходимо иметь такую измерительную систему, которая позволила бы проводить испытания по тепловым возмущениям и удовлетворяла бы требованиям точности измерения, необходимых для получения достоверной информации о протекающих в станке процессах.

Третья глава посвящена разработке методов и средств для исследования тепловых деформаций металлорежущих станков; методов измерения, градуировки и оценке погрешностей измерения температур и деформаций.

Экспериментальные исследования по оценке теплового поведения конструкции станка характеризуется большим объемом измерительной информации. Автоматизация проведения эксперимента позволяет увеличить производительность труда, сократить сроки получения результатов эксперимента, снизить до минимума субъективный фактор и получить качественные результаты. Поэтому, одним из условий проведения работы было создание автоматизированной системы для исследования тепловых деформаций станков с полной автоматизацией и с возможностью управления всех циклов проведения экспериментов.

Определяющим при выборе структуры системы является принцип измерения сигнала, вырабатываемой первичным преобразователем /ПП/. Наиболее точным в отношении автоматизации измерения температур и деформаций являются те ПП, которые вырабатывают измерительный сигнал в форме удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения. После проведения предварительных исследований для определения диапазона изменения измеряемых параметров и условий работы ПП, в качестве термопреобразователей выбраны хромель-копелевые термодпары типа ТХК и терморезисторы типа ММТ-46. Для измерений тепловых деформаций выбраны вихретоковые преобразователи, которые размещались на специальной оправке. На этом же этапе была задана точность измерения ПП, которая удовлетворяет получению достоверной информации, составляющая 1% от диапазона изменения измеряемых параметров.

Измерение сигналов с выбранных ПП осуществлялось цифровыми интегрирующими вольтметрами В7-16А и Ф283-1. Для коммутации измерительных каналов выбран коммутатор с внешним цифровым управлением Ф7078К. Ядром системы выбрана микро-ЭВМ "Электроника ДЗ-28", а в качестве системной магистрали - магистраль МЭК. Используя набор интерфейсных модулей к приборам появилась возможность объединения приборов в систему.

При автоматизированном испытании станков по тепловым деформациям, для получения необходимой информации об исследуемом процессе, при градуировке ПП возникает необходимость согласования характеристик измеряемого сигнала с параметрами АЦП с учетом ус-

ловый их эксплуатации. С этой целью составлена и экспериментально проверена методика градуировки ПП при автоматизированном испытании станков, которая практически исключает погрешности градуировки.

Для исключения влияния тепловых факторов на результаты измерения, экспериментальным путем установлены температурные характеристики для вихретоковых преобразователей, термопар при измерении температуры их свободных концов, а также уравнения для коррекции результатов измерения от изменения температуры оснастки. Указанные характеристики вводятся в память микро-ЭВМ, по которым машина производит соответствующие коррекции результатов измерения. Автоматическое введение поправки на результаты измерения в виде обратной связи, достигаемое программным обеспечением, позволяет получить значения измеряемых параметров с заданной точностью.

Для управления процессом измерения, проведения опроса ПП и обработки результатов после окончания экспериментов с представлением информации в нужной форме, составлено программное обеспечение, позволяющее вести процесс решения задач в диалоговом режиме. В функции программы входит также автоматическое управление процессом имитации теплообразования в зоне резания.

Оценка основных погрешностей измерения температур и деформаций показала, что система обеспечивает их измерение с погрешностью, равной соответственно $\pm 0,75\%$ и $\pm 0,7\%$, что на 25-30% выше заданной точности измерения.

В четвертой главе приводятся экспериментальные обоснования выдвинутых во второй главе положений, оценка качества исследуемого станка при действии тепловых процессов и мероприятия по повышению его качества.

Разработка метода повышения качества станка проводилась в несколько этапов, согласно выдвинутых во второй главе положений.

На первом этапе разработки метода, согласно алгоритму установления критерия оценки повышения качества станка, проведен эксперимент для определения максимальных смещений оси шпинделя и определена уставка - $\delta_x = 4$ мкм; $\delta_y = 35$ мкм; $\delta_z = 16,5$ мкм; $\varphi_x = 1,25 \cdot 10^{-5}$ град.; $\varphi_y = 5,5 \cdot 10^{-5}$ град., при достижении которой, после проведения мероприятий, можно утверждать о повышении качества станка.

На втором этапе, для определения состоятельности принципа

суперпозиции при воздействии источников тепла, проводились эксперименты по определению величины и направления тепловых деформаций при воздействии каждого источника тепла в отдельности и в различных сочетаниях. Результаты экспериментов показали несостоятельность этого принципа, причем была замечена тенденция, что чем больше изменение температуры "технической" среды, тем больше расхождений между экспериментальными данными. Этот факт позволял допустить, что причина нарушения принципа суперпозиции в характере воздействия "технической" среды.

С этой целью на третьем этапе были проведены эксперименты с постепенным привлечением в участие каждого источника тепла в порядке очередности их включения на станке во время его работы. По результатам этих экспериментов были найдены функциональные зависимости тепловых деформаций при воздействии "технической" среды от изменения её температуры. Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что каждый источник тепла вносит свою определенную долю в суммарную величину тепловых деформаций при условии исключения воздействия "технической" среды, которое является переменной величиной и зависит от изменения её температуры. Это означает, что принцип суперпозиции действует только в пределах конструкции станка.

При проведении экспериментов была замечена тенденция идентичного характера изменения тепловых деформаций и углов поворота оси шпинделя в соответствующих плоскостях. Такая тенденция позволила установить функциональную зависимость между изменениями деформаций и соответствующими углами поворота оси шпинделя: $\delta_x = 3,25 \cdot 10^{-5} \varphi_x$ и $\delta_y = 1,54 \cdot 10^{-5} \varphi_y$, являющейся свойством конструкции исследуемого станка. Нахождение таких зависимостей позволило сократить число исследуемых показателей станка до трех и значительно уменьшить объем обрабатываемой информации.

Следующее положение, выдвинутое во второй главе, гласит, что часть тепла, выделяемое каждым источником, уходит на изменение окружающей среды, а часть непосредственно воздействует на положение оси шпинделя через конструкцию станка. Четвертый этап был посвящен определению той доли тепла, выделяемого каждым источником, которое непосредственно приводит к тепловым деформациям от воздействия этого источника. Анализ экспериментальных данных показал, что независимо от того, сколько источников тепла работают в том или ином эксперименте, 40% тепла от этих источ-

ников уходит в окружающую среду, а 60% - непосредственно воздействует на положение оси шпинделя через конструкцию станка. Таким образом, стало возможным установить величину изменения температуры источников тепла, которые приводят к тем или иным величинам тепловых деформаций. Кроме того, проведенный анализ дал возможность определить величину тепловых деформаций при воздействии окружающей среды от изменения температуры источников тепла $\delta_{\kappa} = \pm f(\Delta t_i)$. На этом же этапе было замечено, что примерно одинаковые изменения температуры различных источников тепла приводят к различным величинам тепловых деформаций. Этот факт позволил сделать вывод о том, что каждый источник характеризуется коэффициентами расположения, которые можно определить из экспериментальных данных: $K_x = \delta_x / \Delta t$; $K_y = \delta_y / \Delta t$; $K_z = \delta_z / \Delta t$ /1/ где K_x, K_y, K_z - коэффициенты расположения источника тепла;

$\delta_x, \delta_y, \delta_z$ - величина тепловых деформаций по соответствующим координатам от воздействия исследуемого источника; Δt - изменение температуры источника тепла, которое приводит к деформациям $\delta_x, \delta_y, \delta_z$.

Пятый этап был посвящен определению численных значений этих коэффициентов. На этом же этапе были найдены суммарные коэффициенты $K_{\Sigma x}, K_{\Sigma y}, K_{\Sigma z}$, соответственно используя в выражении /1/ значения $\delta_{\Sigma x}, \delta_{\Sigma y}, \delta_{\Sigma z}$ и $\Delta t_{\Sigma} = (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n) / n$, где Δt_{Σ} - изменение температуры конструкции станка; n - количество источников тепла.

На шестом этапе, после определения коэффициентов расположения источников тепла и их суммарных значений, которые приведены в таблице, были выявлены те источники, которые можно переставлять. Это источник 2 и источник 5 - соответственно система смазки шпинделя и система охлаждения.

Источники тепла	K_x	K_y	K_z
1	0,92	-5,24	0,33
2	0,86	-3,33	-1,56
3	-1,10	-3,42	0,27
4	1,18	5,58	2,37
5	1,18	-4,00	-3,82
6	-0,97	4,50	-1,97
	$K_{\Sigma x}$	$K_{\Sigma y}$	$K_{\Sigma z}$
Σ/n	0,95	-5,13	-4,69

Задача состоит в том, чтобы после проведения манипуляций с источниками тепла коэффициенты K_{x2} , K_{y2} , K_{z2} стремились к нулю. Для этого нужно источник 5 вынести за пределы станка, а источник 2 переставлять: в направлении "плюс" по координате X ; в направлении "плюс" по координате Y ; в направлении "минус" по координате Z . Методом последовательных приближений определяется такое положение источника 2, при котором величины тепловых деформаций войдут в пределы заранее определенной установки.

На заключительном этапе были проведены эксперименты и установлено окончательное расположение переставляемых источников тепла, при котором можно утверждать о повышении качества станка.

В результате использования разработанного метода повышения качества станка удалось уменьшить величины тепловых деформаций исследуемого станка на 40-45% в зависимости от измеряемой координаты, что составляет: по координате X - от 5,5 мкм до 3 мкм; по координате Y - от 47 мкм до 28 мкм; по координате Z - от 23 мкм до 13 мкм; а также углов поворота оси шпинделя φ_x - от $1,7 \cdot 10^{-5}$ град. до $0,9 \cdot 10^{-5}$ град; φ_y - от $7,5 \cdot 10^{-5}$ град. до $4,3 \cdot 10^{-5}$ град. Вследствии уменьшения величин тепловых деформаций, точность станка повысилась на 15%. Исследуемый станок после проведения мероприятий может обрабатывать детали с точностью на одну степень /кавалитет/ выше, чем до проведения этих мероприятий.

ВЫВОДЫ.

1. Разработан метод повышения качества станка по параметру точности путем уменьшения его тепловых деформаций при условии сохранения других характеристик /жесткость, виброустойчивость и др./ на исходном уровне, позволяющий на стадии испытания опытного образца дать конструкторские рекомендации по рациональному расположению источников тепла.

2. Разработанный метод обеспечил уменьшение тепловых деформаций исследуемого станка на 45%, что привело к повышению точности на 15%. Это соответствует повышению точности обработки деталей на одну степень /кавалитет/.

3. Разработанный метод дает возможность управлять величиной тепловых деформаций станка различными способами. Целенаправленный поиск рационального расположения источников тепла, не связанных с кинематикой обработки, является наиболее эффективным за счет минимальных затрат средств и времени.

4. Разработан критерий оценки повышения качества станка, позволяющий однозначно определить результат усовершенствования исследуемого станка.

5. Установлен "специфичный" характер воздействия одного из мощных источников тепла - "технической" среды, позволяющий объяснить несостоятельность принципа суперпозиции при воздействии источников тепла.

6. Определение зависимости тепловых деформаций от изменения температуры "технической" среды позволяет выделить долю, вносимой каждым источником тепла в отдельности в суммарную величину тепловых деформаций.

7. Установлено, что независимо от количества работающих источников тепла, 40% тепла выделяемого источниками, уходит в "техническую" среду, а 60% - в конструкцию станка.

8. Определение соотношения распределения тепла, выделяемого источниками, между "технической" средой и конструкцией станка позволяет установить величину тепловых деформаций при воздействии "технической" среды от изменения температуры источников тепла.

9. Установлено свойство конструкции станка, заключающийся в идентичности изменения смещений и соответствующих углов поворота оси шпинделя, которое позволяет уменьшить объем обрабатываемой информации на 40% за счет сокращения числа исследуемых параметров.

10. Для реализации выдвинутых положений метода создана измерительная система для исследований тепловых процессов в станках с полной автоматизацией и с возможностью управления всех циклов проведения экспериментов, что повышает производительность исследований на 60-70%.

11. Автоматическое введение коррекций на результаты измерений, возникающих от воздействия источников тепла на средства измерения, в виде создания обратной связи, а также разработанная методика градуировки первичных преобразователей позволяет получить значения измеряемых параметров с заданной точностью.

12. Автоматизированная система обеспечивает измерение исследуемых параметров с погрешностью: для температур - $\pm 0,75\%$; для тепловых деформаций - $\pm 0,7\%$ от диапазона их измерения, что на 25-30% выше заданной точности.

13. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанного метода повышения качества станка и практических рекомендаций по повышению точности обработки деталей составляет 31520 рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Варданян Г.М. Выбор и градуировка первичных преобразователей при автоматизированном испытании станков // Известия ВУЗов. Машиностроение.-1987, №2.-С.141-144.

2. Хачатрян А.С., Варданян Г.М. Имитация процесса теплообразования в зоне резания при испытании станков // Известия ВУЗов. Машиностроение.-1985, №3.-С.127-130.

3. Варданян Г.М., Алексеев О.Ю. Влияние крепления термопар на погрешность измерения температуры станка // Известия ВУЗов. машиностроение.-1987, №4.-С.135-138.

В.М.