МИ72394

НЕ ВЫДАЕТСЯ НА РУКИ

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

БЕЛЬЗЕЦКИЙ Анатолий Иосифович

УДК 621.9:62-187:62-97

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА И ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Специальность 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 - 1987

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

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук профессор ПРОНИК[illegible] А.С.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор БУШМИНСКИЙ И.П.
- кандидат технических наук СЛИПУХОВ А.И.

Ведущее предприятие - Московский завод координатно-расточных станков

Защита диссертации состоится "15" февраля 1988 г. на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

[illegible] в одном экземпляре, заверенный [illegible] указанному адресу.

"[illegible] января 1988 г.

[illegible] Р.К.МЕЩЕРЯКОВ

МИ72394

[illegible]2 87г Объем 1 п.л.Тираж 100 экз.
[illegible]фия МВТУ им. Н.Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В постановлении XXYII съезда КПСС по основным направлениям экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года предусмотрена широкая программа повышения технического уровня, точности, надежности и производительности металлорежущих станков, сокращения сроков технической подготовки производства. Повышение точности металлорежущих станков является одной из важнейших задач современного станкостроения. Погрешности обработки на станках зависят от многих факторов, приводящих к изменению заданного относительного положения инструмента и заготовки. Одной из наиболее важных причин появления погрешностей обработки являются относительные смещения инструмента и заготовки из-за тепловых воздействий на станок. Доля тепловых смещений элементов прецизионных станков может составлять 40-70% в общем балансе погрешностей обработки.

Разработанные до настоящего времени расчеты температурных полей и тепловых смещений отдельных элементов станка не связаны со всей системой показателей точности станка и не позволяют получить их достоверной оценки на стадии проектирования. Поэтому разработка более совершенных методик оценки влияния теплового режима на точность металлорежущих станков - актуальная научная задача, направленная на повышение качества станков.

Цель работы. Разработка методики оценки влияния теплового режима на показатели точности металлорежущих станков, позволяющей на стадии проектирования принимать целенаправленные решения для повышения их точности.

Методы исследований. Результаты работы получены на основе теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические исследования проводились на базе методов расчета и конструирования металлорежущих станков, теории теплопроводности и термоупругости, теории линейной алгебры и математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, теории базирования и размерного анализа, численных методов решения дифференциальных уравнений. Экспериментальные исследования проводились на токарном станке высокой точности 16К20ВФ1 с помо-

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1472394
Бельзецкий А.И.Разработка

МГТУ им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

щью специально спроектированных и изготовленных датчиков для измерения температурного поля и показателей точности станка.

Научная новизна. Разработана методика расчета показателей точности металлорежущих станков в функции тепловых воздействий с учетом тепловых связей между основными элементами станка. В основу методики положена разработанная на базе метода конечных элементов математическая модель тепловых погрешностей станка, учитывающая конструкцию и компоновку основных элементов станка, расположение и мощность тепловыделения основных источников, условия теплообмена с окружающей средой, условия теплообмена между основными элементами станка, характер сопряжения основных элементов станка.

Практическая ценность. Предложенная методика расчета, расчетные схемы и разработанные программы для ЭВМ СМ-4 позволяют на стадии проектирования оценивать показатели точности станка при тепловых воздействиях, давать рекомендации для выбора параметров элементов и повышения точности станков.

Реализация работы. Работа является частью научно-исследовательских работ, выполненных на кафедре "Металлорежущие станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана. Результаты диссертационной работы внедрены на МСПО "Красный пролетарий" и НПО "Армстанок" с годовым экономическим эффектом 5700 руб.

Апробация работы. Основные теоретические и практические результаты работы доложены на научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1986, 1987 гг.; на научно-технических конференциях: "Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении" (1980 г., МВТУ им. Н.Э.Баумана); "Основные направления совершенствования металлорежущих станков и автоматических линий" (1982 г., ЭНИМС).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано пять печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 137 наименований, приложения; содержит 150 страниц машинописного текста, 71 рисунок, 25 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе проведен обзор работ, посвященных исследованию теплового режима станков различного технологического назначения, выявлены определяющие факторы, влияющие на тепловой режим и точность станков, проанализированы методы исследования точности станков при тепловых воздействиях и методы оценки температурных полей и тепловых смещений основных элементов станков, сформулированы задачи работы.

Первые исследования теплового режима металлорежущих станков в нашей стране были проведены А.Н.Соколовским, В.Э.Смирновым, Д.И.Решетовым, Ю.И.Соколовым, Ю.Т.Тыминским. В настоящее время известно большое число работ, в которых оценивалась доля влияния тепловых смещений элементов станка в общем балансе погрешности обработки, количественно определялись избыточные температуры и тепловые смещения элементов станка, выявлялись основные источники тепловыделения, определялись элементы станка, которые оказывают доминирующее влияние на точность обработки, выявлялись определяющие факторы, влияющие на тепловой режим и точность станка, исследовалось влияние условий теплообмена с окружающей средой на тепловой режим станка, исследовалось влияние тепловых смещений станка на параметры точности обрабатываемых поверхностей. На основе этих исследований были разработаны практические рекомендации для повышения точности станков.

Обзор работ, посвященных исследованию теплового режима станков различного технологического назначения, позволил установить следующее: I) тепловые смещения металлорежущих станков влияют на такие параметры точности обрабатываемых поверхностей, как точность размера, формы и расположения; 2) отклонения параметров точности обрабатываемых поверхностей, вызванные тепловыми смещениями элементов станка, могут быть соизмеримыми с допуском на обработку; 3) доминирующее влияние на параметры точности обрабатываемых поверхностей оказывают тепловые сме-

щения основных элементов станка - базовых и корпусных деталей, шпинделей и ходовых винтов; 4) основной причиной изменения теплового режима станка являются тепловыделения во внутренних источниках; 5) определяющими факторами, влияющими на тепловой режим и точность станка, являются конструкция и компоновка основных элементов станка, расположение основных источников тепловыделения и их мощность, механические и теплофизические характеристики материала, условия теплообмена элементов станка с окружающей средой, теплообмен и схемы сопряжения между основными элементами станка.

В настоящее время имеются описания экспериментальных исследований, в которых влияние теплового режима на точность станков оценивалось по параметрам точности обработанных деталей-образцов, с помощью системы показателей, характеризующих геометрическую точность станка, по смещениям шпинделя, по смещениям формообразующих узлов станка, по параметрам точности геометрических образов, по характеристикам траекторий движения формообразующих узлов станка. Установлено, что наиболее объективным и универсальным выходным параметром, позволяющим оценивать влияние теплового режима как на точность положения, так и на точность движения формообразующих узлов станка являются характеристики траекторий движения формообразующих узлов. Однако до настоящего времени не разработан вопрос о выборе показателей для оценки влияния теплового режима на точность станка.

Существующие методики оценки температурных полей и тепловых смещений элементов станков разрабатывались на основе расчленения станка на отдельные элементы и разработки расчетов температурных полей и тепловых смещений для каждого элемента станка в отдельности с помощью методов теории теплопроводности и термоупругости. Такой подход и разработанные на его основе методики, с одной стороны, не учитывают ряд определяющих факторов (например, теплообмен между основными элементами станка), а с другой стороны, не позволяют рассчитать всю систему показателей, характеризующих точность станка в целом.

Анализ работ показал, что при разработке расчетов температурных полей и тепловых смещений основных элементов станка используются аналитические и численные методы, моделирование. Показано, что с точки зрения полноты учета определяющих факторов на стадии

проектирования станков наилучшие результаты дает метод конечных элементов (МКЭ), который отличается сравнительной простотой, наглядностью, универсальностью.

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

- разработать общие методические положения для оценки влияния теплового режима на точность станков на стадии их проектирования;
- разработать метод выбора показателей для оценки влияния теплового режима на точность станков;
- разработать математическую модель тепловых погрешностей станка;
- создать алгоритм и программы оценки влияния теплового режима на показатели точности станка;
- провести экспериментальные исследования и расчет теплового режима на примере станка I6К20ВФI и оценить точность разработанной модели;
- провести исследования на стадии проектирования теплового режима токарного станка и разработать практические рекомендации для повышения его точности.

Вторая глава посвящена разработке общих методических положений и выбору показателей точности станка I6К20ВФI.

Исходным положением для оценки показателей точности станка при тепловых воздействиях является представление о тепловой системе станка как совокупности взаимосвязанных основных элементов и источников тепловыделения, формирующих тепловой режим и показатели точности станка.

Разработан общий методический подход к оценке влияния теплового режима на показатели точности станков на стадии их проектирования, который содержит следующие положения: I) объектом расчетных исследований является проект станка; 2) цель исследования - оценка сопротивляемости тепловой системы станка тепловым воздействиям и создание теплостойкой конструкции станка; 3) показатели точности являются характеристиками траекторий движения формообразующих узлов; 4) исследования проводятся при различных сочетаниях или при экстремальных значениях тепловых воздействий; 5) исследования проводятся в режиме автоматизированного эксперимента с помощью ЭВМ на модели тепловых погрешностей станка.

Для выбора показателей точности станка разработана математическая модель взаимосвязи погрешности обработки с погрешностями траекторий формообразующих узлов. В качестве показателей точности предлагается выбирать линейные и угловые смещения координатных систем, связанных с формообразующими узлами с помощью фиксированных точек, характеристики траекторий которых являются выходными параметрами точности станка. Показатели точности выбираются с позиций обеспечения точности размера, формы и расположения обрабатываемых поверхностей.

Приведен пример выбора показателей точности для станков токарной группы классов точности Н, П, В, А, С, а также приведен состав показателей точности для станков типовых компоновок. Для станка 16К20ВФ1 в качестве показателей точности выбраны Δ_{3x}, Δ_{3z} - смещения переднего конца шпинделя в горизонтальной и вертикальной плоскостях; α_3, γ_3 - угловые смещения оси шпинделя в вертикальной и горизонтальной плоскостях; Δ_{ux}, Δ_{uz} - смещения суппорта в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 1).

Сформулирован методический подход к оценке теплового режима станка, заключающийся в раскрытии функциональных связей между факторами, влияющими на тепловой режим станка, и его выходными параметрами. Приведена и описана схема причинно-следственных связей механизма влияния теплового режима на показатели точности станка, в соответствии с которой определение тепловых погрешностей станка включает следующие задачи: 1) оценку мощности тепловыделений в источниках; 2) расчет температурного поля системы основных элементов станка; 3) расчет тепловых смещений основных элементов станка; 4) определение показателей точности станка.

Третья глава посвящена разработке математической модели температурного поля системы основных элементов станка, математической модели тепловых смещений основных элементов, алгоритма и методики оценки влияния теплового режима на показатели точности станка.

Математическая модель температурного поля и тепловых смещений основных элементов станка разрабатывались на основе МКЭ, который позволяет учитывать все определяющие факторы, влияющие на тепловой режим и показатели точности станка. В качестве расчетной схемы станка выбрана пластинчато-стержневая система, а

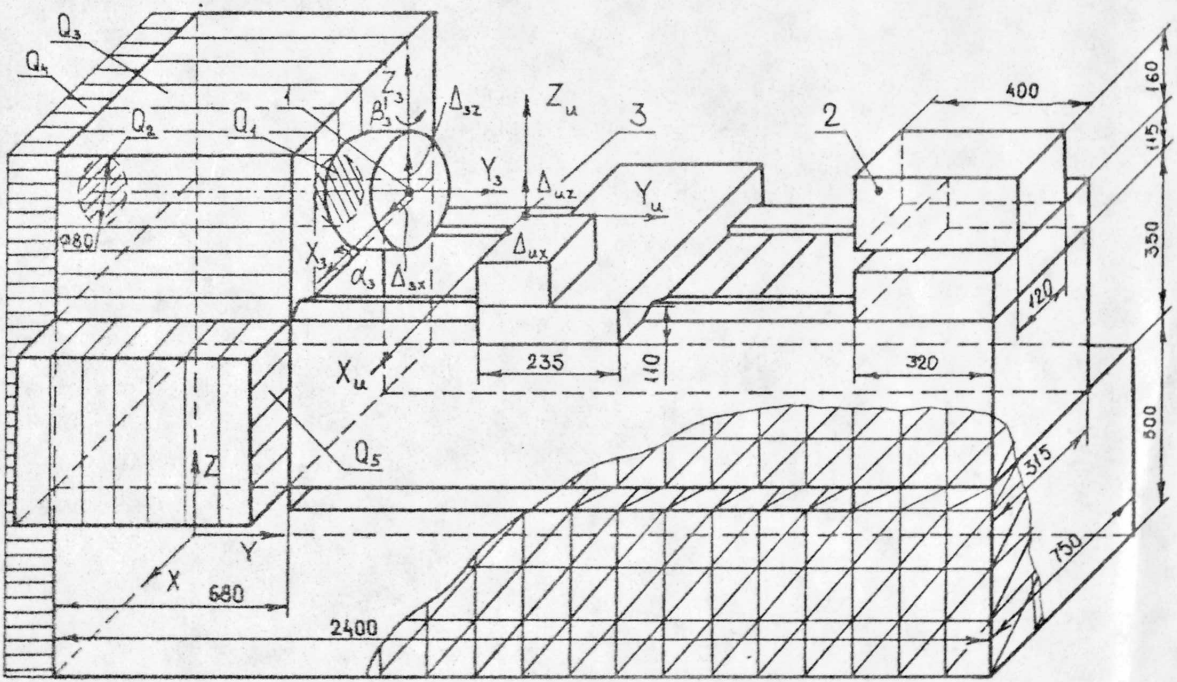


Рис. I. Расчетная схема станка I6К20ВФI:
I,2,3 - фиксированные точки; Δ_{3x}, Δ_{3z}, α_3, γ_3, Δ_{ux}, Δ_{uz} - показатели точности станка; Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 - источники тепловыделения.

в качестве конечных элементов выбраны треугольный и стержневой (рис. I).

Математическая модель температурного поля системы основных элементов станка имеет вид

$$\sum_{m=1}^{P}\left\{\sum_{e=1}^{t_m}\left[K_т^{(e)}\right]+\sum_{e=1}^{S_m}\left[K_c^{(e)}\right]\right\}[T]=\sum_{m=1}^{P}\left\{\sum_{e=1}^{t_m}\left[f_т^{(e)}\right]+\sum_{e=1}^{S_m}\left[f_c^{(e)}\right]\right\}, \quad (I)$$

где P – общее число основных элементов станка: t_m, S_m – общее число треугольных и стержневых элементов m-го основного элемента станка; $\left[K_т^{(e)}\right]$, $\left[K_c^{(e)}\right]$ – матрицы теплопроводности треугольного и стержневого элементов; $[T]$ – вектор узловых температур; $\left[f_т^{(e)}\right]$, $\left[f_c^{(e)}\right]$ – векторы тепловых нагрузок треугольного и стержневого элементов.

Для треугольного и стержневого элементов получены зависимости, позволяющие формировать матрицу $\left[K^{(e)}\right]$, когда теплообмен происходит на лицевой и наружной поверхностях треугольного и стержневого элементов, и вектор $\left[f^{(e)}\right]$, когда потери мощности или мощность тепловыделения в источнике определяются по существующим в станкостроении методикам. Для типовых законов распределения плотности теплового потока линейного, нормального, экспоненциального в зоне действия источника приведены функции плотности теплового потока, выраженные через мощность тепловыделения в источнике.

Математическая модель тепловых смещений основных элементов станка строилась на той же сетке разбиения конструкции, что и при расчете температурного поля:

$$\left\{\sum_{e=1}^{t_m}\left[K_т^{(e)}\right]+\sum_{e=1}^{S_m}\left[K_c^{(e)}\right]\right\}[U]=\left\{\sum_{e=1}^{t_m}\left[F_т^{(e)}\right]+\sum_{e=1}^{S_m}\left[F_c^{(e)}\right]\right\}, \quad (2)$$

где $\left[K_т^{(e)}\right]$, $\left[K_c^{(e)}\right]$ – матрицы жесткости треугольного и стержневого элементов; $[U]$ – вектор узловых смещений; $\left[F_т^{(e)}\right]$, $\left[F_c^{(e)}\right]$ – векторы нагрузок треугольного и стержневого элементов.

Приведена методика учета кинематических граничных условий при формировании разрешающей системы уравнений в соответствии со схемой соединения основных элементов станка, заключающаяся в вычеркивании строк и столбцов в разрешающей системе уравнений (2) для тех узлов, которые лежат в зоне соединения, и для тех степеней свободы, которые определяются схемой сопряжения

основных элементов. Проанализированы и классифицированы схемы сопряжения основных элементов станка.

Зависимости, связывающие смещения фиксированных точек с показателями точности станка, имеют вид

$$[\Phi][U_\varphi]=[\Delta], \qquad (3)$$

где $[\Phi]$ – матрица координат взаимного расположения фиксированных точек; $[U_\varphi]$ – вектор тепловых смещений фиксированных точек; $[\Delta]$ – вектор показателей точности станка.

Для реализации разработанной математической модели тепловых погрешностей станка разработаны алгоритм и программы расчета, позволяющие автоматизировать основные процедуры расчета: расчет мощности тепловыделений в источниках и коэффициентов теплоотдачи, разбиение конструкции на конечные элементы, присвоение граничных условий, формирование и решение системы уравнений для расчета температурного поля и тепловых смещений.

Установлено, что при расчете температурных полей и тепловых смещений основных элементов станка с малыми температурными градиентами достаточно выбирать 3–4 узла на стороне фрагмента расчетной схемы станка, а в зоне больших градиентов – 4–5 узлов, при этом ошибка расчетов, обусловленная дискретизацией конструкции, не превышает 3–5%.

Методика оценки влияния теплового режима на показатели точности станка включает следующие основные этапы: 1) теплофизический анализ конструкции станка и подготовка к расчетам; 2) выбор фиксированных точек, траектории которых могут характеризовать точность станка; 3) выбор показателей точности станка; 4) подготовка исходных данных для ввода в ЭВМ; 5) ввод, диагностика и корректировка исходных данных; 6) проведение предварительных расчетов и уточнение исходных данных; 7) расчет температурного поля, тепловых смещений и показателей точности станка; 8) анализ результатов расчета и разработка рекомендаций для повышения точности станка.

Четвертая глава посвящена расчету и экспериментальной оценке теплового режима станка 16К20ВФ1, как типичного представителя высокоточных станков; проверке на точность и адекватность математической модели тепловых погрешностей станка.

Методика исследования теплового режима станка I6К20ВФI содержит следующие основные этапы: оценку мощности тепловыделений в источниках, исследование температурного поля станка, исследование тепловых смещений и показателей точности станка.

Установлено, что основными источниками тепловыделения в исследуемом станке являются опоры шпинделя (640 Вт), коробка скоростей (I20 Вт), ременная передача (530 Вт), электродвигатель главного движения (330 Вт), система смазки (940 Вт) - в скобках указана мощность тепловыделения при частоте вращения шпинделя 630 $мин^{-I}$.

Для измерения температурного поля была разработана и изготовлена многоточечная система на основе термоэлектрических преобразователей, позволяющая измерять температуру в 50 точках станка. Температурное поле исследовалось в установившемся состоянии при различных комбинациях тепловых воздействий, соответствующих режимам работы станка на холостом ходу с частотами вращения шпинделя 0; I2,5; 630; I000 $мин^{-I}$. Воспроизводимость экспериментов оценивалась по критерию Кохрена G с уровнем значимости 0,05, для пяти параллельных экспериментов, в 50 точках станка. При табличном значении критерия Кохрена $G_т$ =0,0924 получено: G =0,084I (при частоте вращения шпинделя n =0); G =0,0708 (n =I2,5 $мин^{-I}$); G =0,08 (n =630 $мин^{-I}$); G =0,07I8 (n =I000 $мин^{-I}$). Во всех случаях дисперсии однородны, а эксперименты воспроизводимы.

Расчет температурного поля станка I6К20ВФI проводился с помощью разработанной математической модели температурного поля системы основных элементов станка. Температурное поле рассчитывалось в 3I3 узловых точках расчетной схемы станка, которая разбивалась на 6I5 треугольных и 4 стержневых конечных элемента. Адекватность математической модели температурного поля экспериментальным данным проверялась по критерию Фишера F.

При табличном значении критерия Фишера $F_т$ =I,39 получено: F =0,475 (n =0); F =0,867 (n =I2,5 $мин^{-I}$); F =I,08 (n =630 $мин^{-I}$); F =I,35 (n =I000 $мин^{-I}$). Математическая модель температурного поля адекватна результатам эксперимента. Максимальная погрешность расчета температур составляет: 25% при n =0; 50% при n =I2,5 $мин^{-I}$; 33% при n =630 $мин^{-I}$; 50% при n =I000 $мин^{-I}$.

Для определения показателей точности станка разработан датчик на основе емкостных преобразователей, позволяющий измерять траекторию суппорта относительно оси вращения эталонной оправки, установленной на место обрабатываемой заготовки. Исследования проводились при двух тепловых состояниях станка – на разогретом и неразогретом станке. Геометрические погрешности элементов станка устранялись путем вычитания траектории суппорта, полученной на неразогретом станке, из траектории суппорта, полученной на разогретом станке. Исследования проводились на холостом ходу станка при частотах вращения шпинделя 0; 12,5; 630 (рис. 2); 1000 $мин^{-1}$. Экспериментальные и рассчитанные значения показателей точности приведены в таблице. Для большей части рассчитанных показателей погрешность не превышает 35%, что позволяет использовать разработанную методику и математическую модель тепловых погрешностей станка на стадии проектирования.

Экспериментальные исследования и расчет температурного поля ползуна станка 6М610Ф3 подтвердили предположение о возможности при проведении расчетов заменять элементарные источники тепловыделения (подшипники, муфты, зубчатые колеса и пр.), расположенные внутри замкнутого объема, ограниченного стенками корпуса, эквивалентным источником с мощностью тепловыделения, равной сумме мощностей тепловыделений элементарных источников, и с плотностью теплового потока, равномерно распределенной по поверхности корпуса. Получена точность и адекватность результатов расчета температур экспериментальным данным; максимальная погрешность расчета не превышает 22%.

Пятая глава посвящена оценке влияния теплового режима на показатели точности токарного станка на стадии проектирования и разработке практических рекомендаций для повышения его точности.

В качестве объекта исследований выбрана типовая модель токарных станков, разрабатываемых на МСПО "Красный пролетарий". Проведенные расчеты тепловых смещений системы шпиндель-шпиндельная коробка-кронштейн, станины, ходовых винтов показали, что тепловые смещения системы шпиндель-шпиндельная коробка-кронштейн от тепловыделений в опорах шпинделя и ременной передаче могут привести к смещению переднего торца шпинделя в вертикальном направлении на 32 мкм, горизонтальном – 13 мкм, осевом – 43 мкм. Тепловые смещения станины от тепловыделений в системе

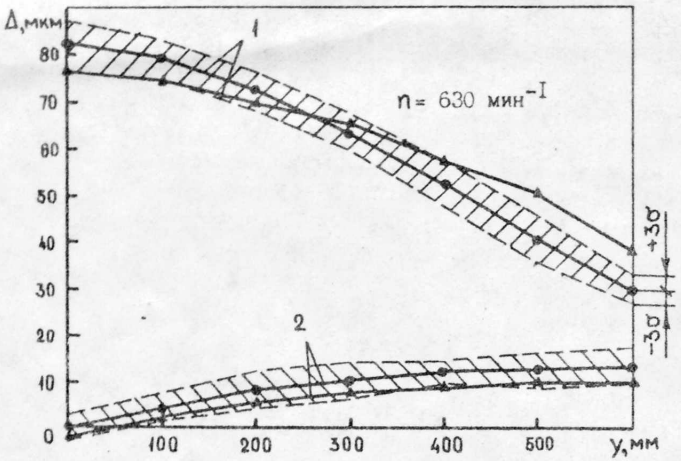


Рис. 2. Траектория суппорта в вертикальной (I) и горизонтальной (2) плоскостях:

▲—▲ - расчет; ●—● -эксперимент.

Таблица

Значения показателей точности станка I6K20ВФI (n =630 мин$^{-I}$), мкм

Показатель	Расчет	Эксперимент	Погрешность расчета, %
Δ_{sx}	0	0	0
Δ_{sz}	77	87	I2
α_s, мкрад	65	44	32
γ_s, мкрад	I7	25	32
Δ_{ux}	3	5	40
Δ_{uz}	7	9	22

смазки могут привести к смещению суппорта в вертикальном направлении на 25 мкм и к смещению кронштейна в вертикальном направлении на II мкм, а в горизонтальном – на 6 мкм. Тепловые смещения ходового винта от тепловыделений в его опорах и передаче винт-гайка качения на расстоянии 800 мм, равном длине хода переднего суппорта, могут достигать 39 мкм, а на расстоянии 1010 мм, равном длине хода верхнего суппорта – 48 мкм. Установлено, что в общем балансе тепловых погрешностей станка тепловые смещения шпиндельной коробки в горизонтальной плоскости составляют 36%, кронштейна – 54%, станины – 10%.

Сравнение расчетных значений температур с результатами экспериментальных исследований температур шпиндельной коробки станка 1720ПФ30, имеющей такую же конструкцию и размеры, как и у проектируемого станка, показало, что ошибка расчета не превышает 19%.

Большая часть мощности тепловыделений в источниках исследуемого токарного станка (1200 Вт или 93%) приходится на шпиндельный узел. Поэтому проведены подробные численные исследования влияния различных факторов на его тепловой режим. Установлено, что площадь теплоотдающей поверхности и условия теплообмена являются определяющими факторами, влияющими на среднюю и максимальную температуры шпинделя.

Проведена численная оценка влияния расположения базирующих поверхностей шпиндельной коробки на показатели точности станка. Рассмотрено семь различных схем базирования, и найден оптимальный вариант, при котором влияние тепловых смещений шпиндельной коробки на показатели точности станка минимально. При этом одна из баз должна находиться в вертикальной плоскости, проходящей через ось шпинделя, другая – со стороны передней боковой стенки шпиндельной коробки.

Установлено влияние тепловых смещений шпиндельной коробки в вертикальном направлении на погрешность обработки в зависимости от угла наклона направляющих верхнего суппорта. Определено, что при нулевом угле наклона направляющих это влияние минимально.

Численно оценена эффективность введения теплоизолирующей прокладки между шпиндельной коробкой и кронштейном, на котором установлена шпиндельная коробка. Установлено, что при введении теплоизолирующей прокладки минимальная, средняя и максимальная температуры шпиндельной коробки повышаются соответственно на 10, 10 и 24%. Однако, в целом, вследствие исключения нагрева кронштейна, введение теплоизолирующей прокладки способствует улучшению показателей точности станка.

На основе проведенных расчетов разработаны практические рекомендации для повышения точности станка, а именно: установка экрана между станцией смазки и станиной, компенсация теплового удлинения ходовых винтов, установка теплоизолирующей прокладки между кронштейном и шпиндельной коробкой, изменение схем базирования шпиндельной коробки и кронштейна, расположение направляющих верхнего суппорта в горизонтальной плоскости. Рекомендации внедрены на МСПО "Красный пролетарий".

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика оценки показателей и повышения точности станков при тепловых воздействиях с учетом тепловых связей между основными элементами станка. Методика базируется на новом положении о тепловой системе станка как совокупности взаимосвязанных основных элементов и источников тепловыделения, формирующих тепловой режим и показатели точности станка.

2. Разработана математическая модель взаимосвязи погрешности обработки с погрешностями траекторий формообразующих узлов станка, позволяющая выбирать показатели для оценки влияния теплового режима на точность станка с позиций обеспечения точности размеров, формы и расположения обрабатываемых поверхностей. Показателями точности станка являются линейные смещения и угловые повороты координатных систем, связанных с формообразующими узлами с помощью фиксированных точек, характеристики траекторий которых являются выходными параметрами точности станка.

3. Разработанная на основе МКЭ математическая модель тепловых погрешностей станка позволяет рассчитывать значения показателей точности станка при тепловых воздействиях с учетом условий теплообмена и схем сопряжения между основными элементами станка.

4. Для реализации разработанной математической модели тепловых погрешностей станка созданы алгоритм и программы расчета на языке ФОРТРАН, позволяющие автоматизировать основные процедуры расчета: разбиение конструкции на конечные элементы, нумерацию узлов и конечных элементов, присвоение граничных условий, формирование системы уравнений для расчета температурного поля и тепловых смещений. Исследование влияния частоты разбиения на точность расчета МКЭ температурного поля и тепловых смещений основных элементов станка показало, что на стороне фрагмента расчетной схемы станка достаточно выбрать 4–5 узлов, – относительная ошибка при этом не превышает 5%.

5. Показана точность и адекватность экспериментальным данным результатов расчета температурного поля и показателей точности станка I6K20ВФI; относительная ошибка расчета показателей точности не превышает 35%, что позволяет использовать разработанную методику на стадии проектирования станков.

6. На примере расчетной и экспериментальной оценки температурного поля ползуна станка 6М6IОФ3 показана возможность замены, при проведении расчетов, элементарных источников тепловыделения, расположенных внутри корпуса коробки, эквивалентным источником с мощностью тепловыделения, равной сумме мощностей тепловыделений элементарных источников, и с плотностью теплового потока, равномерно распределенной по поверхности корпуса. Получена точность и адекватность результатов расчета температур экспериментальным данным; максимальная погрешность расчета не превышает 22%.

7. Расчет влияния теплового режима на показатели точности токарного станка МСПО "Красный пролетарий" на стадии его проектирования позволил установить, что в общем балансе тепловых погрешностей станка тепловые смещения шпиндельной коробки составляют 36%, кронштейна – 54%, станины – I0%. Тепловые смещения системы шпиндель–шпиндельная коробка–кронштейн могут привести к смещению переднего торца шпинделя в вертикальном направлении на 32 мкм, в горизонтальном – I3 мкм, в осевом – 43 мкм. Тепловые смещения станины от тепловыделений в системе смазки могут привести к смещению суппорта в вертикальном направлении на 25 мкм и к смещению кронштейна в вертикальном направлении на II мкм, а в горизонтальном – на 6 мкм.

8. На основании проведенных расчетов предложены рекомендации для повышения точности проектируемого токарного станка, заключающиеся в ограничении передачи тепла станине и кронштейну, изменении схемы базирования кронштейна и шпиндельной коробки, уменьшении угла наклона направляющих верхнего суппорта. Получены количественные оценки эффективности предложенных рекомендаций.

9. Результаты диссертационной работы внедрены на МСПО "Красный пролетарий" и НПО "Армстанок" с годовым экономическим эффектом 5700 руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Бельзецкий А.И., Кузнецов А.П. Расчет влияния тепловых деформаций металлорежущих станков на точность обработки // Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - М.: МВТУ. - 1980. - С. 9.

2. Кузнецов А.П., Бельзецкий А.И. Пути повышения быстроходности узлов для высокоскоростной обработки. - М.: ВНИИТЭМР, 1985. - 52 с.

3. Бельзецкий А.И. Методика выбора показателей точности для оценки влияния теплового режима на точность металлорежущих станков // Известия вузов. Машиностроение. - 1986. - № 9. - С. 153-157.

4. Бельзецкий А.И. Алгоритм оценки влияния теплового режима на выходные параметры точности металлорежущих станков на стадии проектирования // Известия вузов. Машиностроение. - 1987. - № 2. - С. 135-140.

5. Бельзецкий А.И. Оценка температурных полей металлорежущих станков на стадии проектирования // Известия вузов. Машиностроение. - 1987. - № 7. - С. 132-137.