М 407153

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи
УДК 621.91:62-187

Дьяконова Наталия Павловна

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Специальность 05.03.01 - Процессы и машины обработки материалов резанием; автоматические линии

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

Москва - 1983

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 Черпинский Н.М.

Официальные оппоненты – доктор технических наук,
проф. Подураев В.Н.

– кандидат технических наук,
Севрюгин Д.А.

Ведущая организация – Московское производственное объединение по выпуску автоматических линий и специальных станков им.50-летия СССР

Защита диссертации состоится "___" _____ 198 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., д.5.

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

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, пр

Автор

Учен
специали
к.т Р.К.

М407153

Л-99305 00 экз.
Ротаприн

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Главной тенденцией развития современного машиностроения является всемерное повышение качества обработки деталей с достижением максимальной производительности.

В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 гг. и на период до 1990 г." перед машиностроителями поставлена одна из основных задач: "... значительно улучшить качество выпускаемых машин, оборудования и приборов, повысить их технический уровень, производительность, надежность и безопасность в эксплуатации". С повышением требований к точности и производительности машин, в том числе металлорежущих станков, возрастает роль критерия жесткости.

Исследованиями советских и зарубежных ученых установлено, что в общем балансе погрешностей изготовления деталей на станках, особенно с высокими режимами, от 10% до 90% суммарной погрешности обусловлены смещениями узлов станков под действием усилий резания.

1407153

В общем балансе смещений узлов станков решающую роль играют перемещения в стыках. Характерная особенность стыков - наличие сил неупругого сопротивления (трения) между поверхностями, образующими стык. Силы трения влияют на смещения звеньев системы: при возрастании внешней нагрузки силы трения препятствуют ее увеличению, уменьшая тем самым смещения в системе, а при уменьшении нагрузки силы трения препятствуют ее снижению, увеличивая смещения в системе.

Информацию о реакции станка на внешнее воздействие с учетом сил трения в стыках содержит силовая характеристика станка - зависимость относительных смещений инструмента и заготовки от внешних сил за цикл "нагрузка-разгрузка". До настоящего времени силовые характеристики металлорежущих станков определяются только экспериментально. Аналитически оцениваются только чисто упругие свойства звеньев без учета сил неупругого сопротивления, что на стадии проектирования не отражает реального процесса формирования точности станков при силовом воздействии.

Таким образом, оценка силовых характеристик металлорежущих станков на стадии проектирования - актуальная научная задача, направленная на повышение качества станков.

Цель исследования. Разработка методики вероятностной оценки силовых характеристик металлорежущих станков на стадии проектирования.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1407153
МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

Методика исследования. В работе использованы методы сопротивления материалов, теории упругости, теории вероятностей и математической статистики. Вероятностная оценка силовых характеристик плоских стыков, суппортных и шпиндельных узлов токарных станков выполнена методом статистического моделирования на ЭВМ (методом Монте-Карло). Экспериментальные исследования выполнены на специальных стендах и станках в лабораторных и производственных условиях с использованием современных измерительных приборов.

Научная новизна. Впервые разработана методика вероятностной оценки силовых характеристик металлорежущих станков на стадии проектирования с учетом упругих и неупругих свойств звеньев. В основу методики положена гипотеза, предложенная П.М.Чернянским, в соответствии с которой любую деформируемую систему можно представить в виде совокупности элементов упругого (ЭУ) и неупругого (ЭТ) сопротивлений.

В целях создания единого подхода к расчету силовых характеристик станков различных типов составлена "Таблица типовых звеньев", в которой приведены данные по классификации деформируемых деталей и стыков станков, составлению их расчетных схем и расчету ЭУ и ЭТ.

Разработана общая методика составления расчетных схем для оценки силовых характеристик станков различных типов на стадии проектирования. Подтверждена адекватность моделей – математического описания расчетных схем – реальному процессу деформирования узлов станков под действием приложенных усилий.

Практическая ценность. Разработанные в диссертации методические положения впервые позволяют: 1) оценивать смещения узлов станков под действием приложенных усилий на основе вероятностного рассмотрения процессов нагружения и контактирования поверхностей стыков с учетом сил неупругого сопротивления (трения) в них; 2) давать обоснованные рекомендации по проектированию станков заданной точности и рациональному использованию их технологических возможностей с учетом будущих силовых характеристик.

Реализация результатов работы. Разработанная в данной диссертационной работе методика вероятностной оценки силовых характеристик металлорежущих станков на стадии проектирования и рекомендации по повышению точности станков с учетом их характеристик приняты к использованию на Московском производственном объединении по выпуску автоматических линий и специальных станков им. 50-летия СССР. Применение методики позволит сократить затраты на

экспериментальное исследование и доводку проектируемых станков-автоматов. Ожидаемый экономический эффект в расчете на одну базовую модель станка составляет 3500 руб.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались: 1) на научно-технической конференции молодых специалистов Московского автомобильного завода им.И.А.Лихачева (февраль 1980 г., Москва, п/о "ЗИЛ"), где доклад был признан лучшим из представленных на механико-технологическую секцию и удостоен диплома; 2) на Всесоюзной научно-технической конференции с международным участием "Надежность и качество машин: испытание, диагностика, прогнозирование" (сентябрь 1981 г., Москва); 3) на научно-методическом семинаре (декабрь 1980 г.) и на заседаниях кафедры "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана (декабрь 1981 г., январь 1983 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы отражены в пяти статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 110 наименований и приложений. Содержит 138 страниц машинописного текста, 88 рисунков и 23 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ исследований жесткости металлорежущих станков: рассмотрены основные определения жесткости, выявлено влияние жесткости на критерии работоспособности станков - точность, виброустойчивость, производительность, - рассмотрены основные факторы, влияющие на жесткость, методы определения жесткости и силовых характеристик станков.

В работах советских и зарубежных ученых: К.В.Вотинова, А.П.Соколовского, В.С.Корсакова, А.М.Дальского, Д.Н.Решетова, В.Н.Подураева, З.М.Левиной, Х.Опица, Г.Спура и других приводятся определения жесткости как способности системы сопротивляться действию внешних сил, стремящихся ее деформировать.

Сопротивление деформирующим усилиям создают не только силы упругости, но и силы неупругого сопротивления (трения) в стыках. Именно в силовой характеристике содержится информация о реакции системы на внешнее силовое воздействие с учетом упругих дефор-

ций, сил трения в стыках, зазоров.

В зависимостях для определения погрешностей обработки при точении, фрезеровании, шлифовании и других методах жесткость учитывается как постоянная величина, отражающая чисто упругие свойства узлов. Но при одном и том же значении нагрузки смещения в стыках, определенные по нелинейным и усредненным силовым характеристикам, не равны. Различна и точность обработки: при обтачивании деталей с прямыми и обратными конусами на токарном станке мод.16К20 было установлено, что погрешность формы обратных конусов в среднем на 20% меньше, чем прямых. В то же время отжатия узлов, определяемые по разгрузочной ветви характеристики при уменьшении усилия резания, меньше отжатий, определяемых по нагрузочной ветви при увеличении усилия резания, на 27%. Сравнение корреляционных зависимостей, связывающих погрешность обработки с отжатиями станка, показало, что оценка погрешности с учетом отжатий, определяемых по разгрузочной ветви при уменьшении усилия резания, в среднем на 35% точнее оценки погрешности с учетом усредненных характеристик и на 39% точнее оценки с учетом отжатий, определяемых по нагрузочной ветви. Таким образом, использование силовых характеристик станков позволяет более точно оценивать погрешности обработки.

Исследования по выявлению корреляционных связей виброустойчивости станков с основными параметрами их силовых характеристик, проведенные Г.Б.Фикс-Марголиным, показали, что разработанная методика оценки характеристик в сочетании с определенным запасом статистических данных о связи их параметров с критериями виброустойчивости могут стать основой прогнозирования виброустойчивости металлорежущих станков на стадии проектирования с учетом их будущих силовых характеристик.

Рассмотрены причины снижения производительности обработки из-за недостаточной жесткости станков. Отмечено, что разработанная методика создает реальную основу для прогнозирования не только точности и виброустойчивости, но также и производительности проектируемых станков.

В многочисленных работах советских и зарубежных ученых: А.П.Соколовского, Н.Б.Демкина, З.М.Левиной, Э.В.Рыжова, К.Пинотти, Р.Коннолли и других рассматриваются основные факторы, влияющие на жесткость стыков, перемещения в которых составляют от 50% до 90% в балансе перемещений универсальных и прецизионных станков: 1) шероховатость контактирующих поверхностей;

2) макроотклонения; 3) материал контактирующих деталей; 4) площадь стыков; 5) величина предварительного нагружения; 6) смазка стыков; 7) вибрации. Из обзора литературы следует, что в настоящее время накоплено достаточное количество экспериментальных данных и теоретических зависимостей для расчета перемещений в нормальных и тангенциальных стыках при нагружении и разгружении.

Среди методов определения жесткости и силовых характеристик технологических систем выделены аналитические и экспериментальные. Отмечено, что несмотря на ряд преимуществ - относительную простоту, наглядность результатов, приближение условий испытаний к условиям обработки на станке, - экспериментальные методы позволяют определять жесткость и силовые характеристики изготовленных или действующих станков.

Аналитические методы определения жесткости технологических систем дают возможность еще в стадии проектирования обоснованно подойти к выбору основных параметров конструкции с точки зрения ее высокой точности, долговечности и снижения веса. В результате обзора и анализа существующих аналитических методов установлено следующее: при оценке смещений в технологических системах под действием приложенных усилий учитываются только чисто упругие свойства звеньев, не рассматриваются силы трения в стыках, а также рассеивание смещений при одних и тех же условиях нагружения и размерах стыков.

В работах П.М.Чернянского впервые рассмотрена природа силовых статических характеристик технологических систем, предложена и доказана гипотеза формирования силовых характеристик с учетом упругих и неупругих свойств систем. Представление о технологической системе как о совокупности звеньев, обладающих упругим и неупругим сопротивлениями, позволило выработать единый системный подход к оценке силовых характеристик станков с учетом характеристик стыков.

Многообразие факторов, определяющих перемещения в стыках, их изменение в широких пределах ставят задачу использования вероятностных методов при оценке силовых характеристик металлорежущих станков на стадии проектирования.

Вторая глава посвящена выделению, классификации, составлению расчетных схем и анализу методов расчета типовых звеньев металлорежущих станков - деталей, стыков, неболь узлов, наиболее распространенных в конструкциях. Основой выделения и классификации типовых звеньев является анализ шпиндельных и суппортных уз-

лов токарных станков различных типов. Представилось возможным разделить деформируемые детали и стыки на основные группы типовых звеньев: I) нормальные стыки; 2) тангенциальные стыки; 3) деформируемые детали; 4) подшипники качения; 5) валы и оси на деформируемых опорах.

I работе рассмотрены основные принципы, положенные в основу классификации типовых звеньев станков.

В соответствии с классификацией в одну группу включены звенья, имеющие качественно одинаковые силовые характеристики и зависимости, определяющие их перемещения при нагружении-разгружении.

В качестве основного метода расчета смещений в нормальных стыках рекомендуется использование эмпирических зависимостей:

$$\delta = c' q^{\lambda} ; \qquad (I)$$

$$\delta = c P^{\lambda} , \qquad (2)$$

где: q – удельное давление в стыке;

P – нормальное усилие;

$c'; c; \lambda$ – коэффициенты и показатель степени, учитывающие изменение условий контактирования поверхностей стыков.

Приводятся значения $c'; c; \lambda$ для различных нормальных стыков, а также количественные данные для учета макроотклонений, "масштабного" фактора, предварительного нагружения, наличия смазки, величины зазора-натяга и других факторов, влияющих на контактные перемещения.

Для расчета смещений в нормальных стыках колец подшипников качения с валами и корпусами рекомендуется использование расчетно-экспериментальных зависимостей для оценки контактных перемещений в цилиндрических и конических стыках с учетом посадок. Для расчета сближений в контакте тел качения с кольцами используются положения теории контактных напряжений и деформаций, уточненные введением эмпирических поправочных коэффициентов.

Основным методом оценки смещений в тангенциальных стыках является использование эмпирических зависимостей, полученных на основе экспериментальных исследований контактной жесткости плоских, цилиндрических, конических стыков, направляющих скольжения. Смещения в стыке под действием сдвигающего усилия P:

при нагружении: $\delta_н = K_{\tau_y} \cdot \tau_y^* + K_{\tau_n} (\tau - \tau_y^*)$; (3)

при разгружении: $\delta_р = (K_{\tau_n} - K_{\tau_y}) \tau_y^* + K_{\tau_n} \cdot \tau$, (4)

где: τ ; τ_y^* – напряжения сдвига в стыке площадью S;

$K_{\tau_n}; K_{\tau_y}$ – коэффициенты, учитывающие различные условия контактирования поверхностей стыков.

Приводятся значения K_{τ_y} ; K_{τ_n} ; τ_y^* для различных тангенциальных стыков, а также количественные данные для учета колебаний, наличия штифтов и шпонок, давления затяжки и других факторов, влияющих на перемещения в стыках.

. Для расчета деформаций деталей используются как теоретические, так и расчетно-экспериментальные зависимости, полученные на моделях и на реальных деталях. Выбор метода определяется конструктивной сложностью деталей, схемами нагружения.

Перемещения шпинделей, валов и осей, установленных на подшипниках качения или скольжения, определяются по методике расчета многопролетных балок на упругих опорах.

Для учета сил трения и их влияния на перемещения в анализируемых системах использован метод моделирования (составления расчетных схем), в соответствии с которым любую деформируемую систему – стык, узел, станок – можно представить в виде определенного сочетания ЭУ и ЭТ, параметры которых определяются по соответствующим силовым характеристикам. ЭУ характеризуется жесткостью j, ЭТ – силой неупругого сопротивления T, которые могут быть как постоянными, так и зависящими от нагрузки. Каждой группе типовых звеньев соответствует свое сочетание ЭУ и ЭТ, последовательность и параметры которых отражаются расчетной схемой.

Таблица

Классификация типовых звеньев станков

№ п/п	Наименование типового звена	Обозначение	Расчетная схема
I	Нормальный стык	σ	P — $j(P)$ — $\delta_{пл}(P)$
2	Тангенциальный стык	τ	P — j_1 — T — j_2
3	Деформируемая деталь	δ	P — j
4	Подшипник качения	$\delta_п$	R — $j_1(R)$ — $\delta_{пл1}(R)$ — $j_3(R)$ — $j_2(R)$ — $\delta_{пл2}(R)$
5	Вал на упругих опорах	$\delta_{шп}$	P — i — j_0 — i_1 — $\delta_{п1}$ — … — i_n — $\delta_{пn}$

Развернутая "Таблица типовых звеньев" с зависимостями и основными данными для расчета деформаций звеньев, их параметров ЭУ и ЭТ приводится в диссертации. Она является основой при составлении расчетных схем технологических систем для оценки их силовых характеристик на стадии проектирования.

В третьей главе разработаны основные положения методики составления расчетных схем металлорежущих станков для оценки их силовых характеристик на стадии проектирования.

Обоснованы необходимость выбора контрольной точки определения перемещений системы и направления перемещения этой точки - по нормали к обрабатываемой поверхности. В выбранном направлении определяются деформации деталей и стыков, перемещения в зазорах системы. Показано влияние положения точки приложения внешней нагрузки на параметры силовых характеристик звеньев, что создает необходимость тщательного анализа действующих усилий, их направлений и координат точек приложения по отношению к каждому деформируемому стыку, детали.

При переходе от конструкции к ее расчетной схеме составляется промежуточная блок-схема, в которую включаются все те детали, стыки, зазоры, деформации и перемещения в которых влияют на перемещение контрольной точки системы в выбранном направлении. При составлении блок-схемы определяется вид связи между звеньями, которая может быть параллельной или последовательной.

Показано, что принципы составления блок-схем, обозначения в них едины для всех конструкций: блок-схема любой технологической системы состоит из типовых звеньев, расчетные схемы и параметры ЭУ и ЭТ которых определяются по "Таблице типовых звеньев". Поэтому на этапе составления блок-схемы рассматривается схема нагружения каждой детали, стыка системы для сопоставления их с "Таблицей" и отнесения к той или иной группе типовых звеньев. На рис.1 представлена схема нагружения, а на рис.2 - блок-схема поперечного суппорта токарно-револьверного станка мод.1Д118, составленная из типовых звеньев с учетом основных положений разработанной методики.

Блок-схема является первым этапом перехода от конструкции к ее расчетной схеме - сочетанию ЭУ и ЭТ выделенных типовых звеньев, деформации которых приводятся к контрольной точке системы через передаточные отношения. Получены аналитические зависимости для определения передаточных отношений типовых звеньев: деформируемых деталей, нормальных и тангенциальных стыков. Для удобства

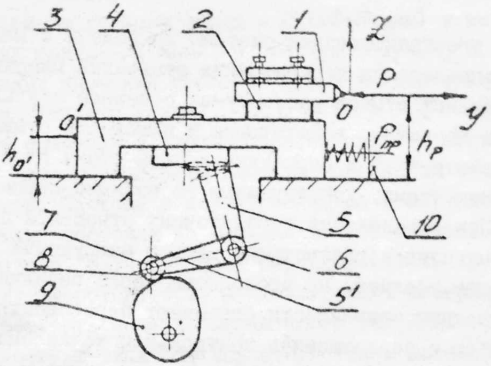


Рис.I. Передний поперечный суппорт токарно-револьверного станка мод.1Д118

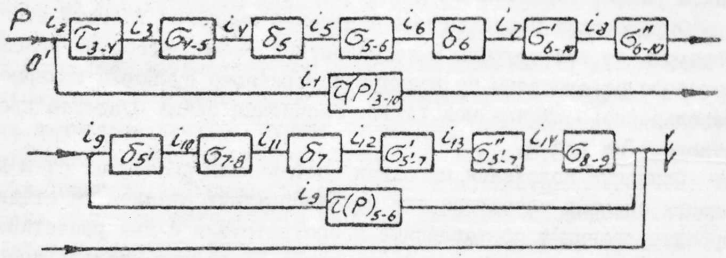


Рис.2. Блок-схема суппорта

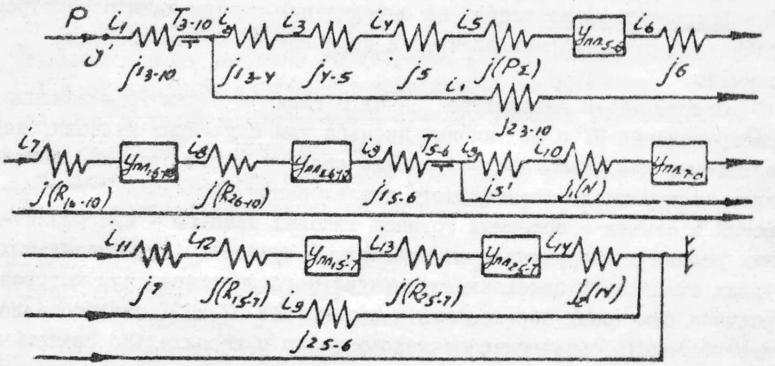


Рис.3. Расчетная схема суппорта

расчетов пространственные системы приведены к плоским.

При определении передаточных отношений плоских нормальных и тангенциальных стыков рассмотрены основные случаи их нагружения: усилием и моментом, действующим в плоскости стыка; усилием и моментом, действующим в перпендикулярной стыку плоскости; усилием и двумя моментами, действующими во взаимно перпендикулярных плоскостях. При определении передаточных отношений цилиндрических нормальных стыков рассмотрены случаи нагружения стыков с зазором и с натягом усилием, не проходящим через середину стыка.

Полученные зависимости связывают перемещения в выбранных точках звеньев с перемещением контрольной точки системы. Для нормальных и тангенциальных стыков такими точками являются центры тяжести площадей контакта. Для деформируемых деталей эти точки лежат в сечениях, проходящих через центры тяжести площадей контакта рассматриваемых деталей с другими.

Определение передаточных отношений является третьим этапом перехода от конструкции к ее расчетной схеме, основные положения которого рассмотрены на примере поперечного суппорта токарно-револьверного станка мод.1Д118. Расчетная схема суппорта представлена на рис.3.

Основные положения методики составления расчетных схем для оценки силовых характеристик металлорежущих станков на стадии проектирования и составленные в соответствии с ней расчетные схемы суппортного и шпиндельных узлов позволяют сделать вывод об универсальности методики для станков различных типов.

Четвертая глава посвящена определению рассеивания параметров расчетных схем типовых звеньев и перемещений металлорежущих станков.

Отсутствие в литературе данных о видах и параметрах законов распределения ЭУ и ЭТ типовых звеньев как случайных величин, необходимых для вероятностной оценки силовых характеристик, поставило задачу экспериментального исследования рассеивания перемещений в стыках - основных группах типовых звеньев - при различных условиях нагружения-разгружения, в суппортных и шпиндельных узлах станков. В целях экспериментального подтверждения методов расчета суммарных перемещений и параметров ЭУ и ЭТ исследовались перемещения в системах с последовательно и параллельно связанными звеньями.

Исследование смещений в стыках и станках производилось при приложении плавно нарастающего, а затем убывающего усилия с од-

новременной записью показаний измерительных приборов мод.212 завода "Калибр" (цена деления шкалы - 0,1+0,5 мкм) и индикаторов (цена деления шкалы - I мкм). В среднем получено по 20 реализаций - возможных значений смещений - при каждой фиксированной величине приложенного усилия.

Исследование смещений в плоском тангенциальном стыке проводилось на одной паре образцов; в плоском нормальном стыке - на 4-х парах образцов. Системы с последовательно и параллельно связанными звеньями состояли из плоских тангенциальных стыков специальных образцов. Материал всех образцов (сталь 45, сталь 40Х, серый чугун), шероховатость контактирующих поверхностей ($\nabla 6 \div \nabla 10$), твердость поверхностных слоев (НВ 220...240 + HRC 45...50) соответствуют типичным характеристикам деталей станков. Исследование смещений в узлах токарных полуавтоматов мод.I6К20, IK282, I283 проводилось при нагружении их по схемам, предусмотренным ГОСТ I8097-72 и I2II0-72. В общей сложности при экспериментах по исследованию смещений в стыках получено 6900 реализаций, в шпинделях - 6450 реализаций, в станках - 8800 реализаций.

Проведена математическая обработка полученных экспериментальных данных с использованием статистических методов. В результате вычислены статистические характеристики эмпирических распределений - средняя арифметическая $\bar{X}$ и дисперсия S^2 каждой выборки, оценена однородность наблюдений по критерию Граббса, проверена гипотеза случайности выборок способом последовательных разностей, оценена точность вычисления генеральной средней $\bar{X}_0$ и дисперсии генеральной совокупности σ_0^2 с помощью доверительных интервалов.

В результате математической обработки и анализа экспериментальных данных получены гистограммы распределения: параметров ЭУ и ЭТ плоского тангенциального стыка, коэффициента в формуле (2), а также перемещений в стыках, узлах и станках при различных значениях приложенного усилия.

Установлено, что суммарное смещение в системе с последовательно соединенными звеньями определяется по формуле:

$$\delta_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} \delta_i \ , \qquad (5)$$

где: n - число последовательных звеньев системы;

δ_i - смещение i-того звена.

Установлено, что смещения и суммарные параметры ЭУ и ЭТ системы с параллельно связанными звеньями определяются по формулам:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{P}{f_{1\Sigma}} + \frac{P \mp T_{\Sigma}}{f_{2\Sigma}}, \qquad (6)$$

где
$$f_{1\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} f_{1i} \qquad (7)$$

$$f_{2\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} f_{2i} \qquad (8)$$

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} T_i \qquad (9)$$

где: n - число параллельных стыков системы;

$f_{1i}; f_{2i}; T_i$ - параметры ЭУ и ЭТ i-того звена.

Выявлено влияние: 1) максимального усилия в цикле "нагрузка-разгрузка" на остаточные смещения в станках и нормальных стыках; 2) нормального давления на параметры ЭУ и ЭТ тангенциальных стыков и их рассеивание; 3) шероховатости поверхностей - на смещения в нормальных стыках и их рассеивание.

В пятой главе изложен метод вероятностной оценки силовых характеристик стыков и узлов металлорежущих станков. Использование метода статистического моделирования (метод Монте-Карло) позволило определить границы областей рассеивания перемещений анализируемых систем при нагружении-разгружении.

Для оценки силовых характеристик методом Монте-Карло предварительно были определены вид и параметры законов распределения ЭУ и ЭТ типовых звеньев как случайных величин на основе статистических характеристик эмпирических распределений. При этом использовались критерии согласия Пирсона и Смирнова-Колмогорова.

Вероятностная оценка силовых характеристик плоского тангенциального стыка выполнена с использованием аналитических зависимостей для определения передаточных отношений. Рассмотрены наиболее общие случаи нагружения стыка: моментами, действующими в горизонтальной плоскости, в вертикальной плоскости, одновременно в двух плоскостях. Для всех случаев в результате оценки силовых характеристик методом Монте-Карло получены: максимальное, минимальное и среднее (математическое ожидание) значения смещений в стыке y_0 при каждом заданном значении сдвигающего усилия. С помощью дополнительной подпрограммы SS, разработанной С.А.Дальским, определены вид и параметры законов распределения случайной величины y_0. Адекватность модели реальному процессу нагружения и контактирования поверхностей стыка подтверждена в результате экспериментального исследования смещений в стыке при каждой рассмотренной схеме нагружения. Расхождение средних экспериментальных

ных и расчетных значений $\bar{y}_0$ составляет 6-15%.

Для оценки силовых характеристик поперечного суппорта токарно-револьверного станка мод.1Д118, шпинделей изделия станков попутного точения мод.ЕТ-50 и ХТ-260 была применена методика вероятностной оценки силовых характеристик станков на стадии проектирования, на основе которой были составлены блок- и расчетные схемы анализируемых узлов в виде сочетаний типовых звеньев. При расчете использовались формулы, приведенные в "Таблице типовых звеньев", зависимости для определения передаточных отношений, данные о величинах и законах распределения основных параметров типовых звеньев. При оценке характеристик всех указанных систем дополнительно учитывались перемещения параллельных звеньев, приведенные к контрольным точкам систем через передаточные отношения.

Вероятностная оценка силовых характеристик суппортного и шпиндельных узлов станков выполнена методом Монте-Карло на основе математических моделей - математического описания расчетных схем - и генераторов случайных чисел - значений параметров ЭУ и ЭТ типовых звеньев, распределенных по нормальному, логарифмически нормальному законам и закону равной вероятности, - подпрограмм *Gauss, Dlog, Randu*. В результате расчета получены: максимальное, минимальное и среднее (математическое ожидание) значения смещений выбранных контрольных точек узлов при каждом заданном значении приложенного усилия; определены вид и параметры законов распределения полученных смещений. Адекватность моделей реальному процессу деформирования узлов при статическом приложении нагрузки подтверждена в результате экспериментальных исследований смещений в узлах станков мод.1Д118, ЕТ-50, ХТ-260 при нагружении-разгружении. Расхождение средних экспериментальных и расчетных значений смещений контрольных точек составляет: 8-16% - суппорта станка мод.1Д118, 14-23% - шпинделя изделия станка мод.ХТ-260, 9-18% - шпинделя изделия станка мод.ЕТ-50.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что со смещениями шпиндельных и суппортных узлов станков под действием усилий резания в зависимости от режимов резания связаны от 10 до 90% погрешностей обработки. Перемещения узлов обусловлены действием сил упругого и неупругого сопротивления. Связь смещений с действующей нагрузкой устанавли-

вается с помощью силовой характеристики – графика зависимости смещения от нагрузки за цикл "нагружение-разгружение".

2. Точность станков при силовом внешнем воздействии определяется силовой характеристикой. Выполненные на токарном станке мод.16К20 эксперименты подтвердили, что количественные показатели силовых характеристик технологических систем могут и должны быть использованы для расчета точности.

3. Установлено, что процесс нагружения и контактирования поверхностей стыков носит случайных характер и приводит к рассеиванию перемещений в технологических системах, что создает необходимость использования вероятностных методов при оценке силовых характеристик.

4. Разработана методика вероятностной оценки силовых характеристик металлорежущих станков на стадии проектирования. В основу методики положена гипотеза, предложенная П.М.Чернянским, в соответствии с которой любую деформируемую систему – деталь, стык, станок – можно представить в виде совокупности элементов упругого и неупругого сопротивления – ЭУ и ЭТ.

5. Установлено, что для унификации расчетов все многообразие конструкций станков можно свести к различным сочетаниям типовых звеньев – нормальных и тангенциальных стыков, деформируемых деталей, подшипников качения, валов и осей на упругих опорах, – деформации которых под действием внешних усилий влияют на суммарное перемещение системы в выбранном направлении.

6. Составлена "Таблица типовых звеньев", в которой приведены данные по классификации звеньев, составлению их расчетных схем и расчету элементов упругого и неупругого сопротивления. Использование "Таблицы" создает единый подход к расчету силовых характеристик станков различных типов.

7. На основе проведенных экспериментов и их статистической обработки установлены вид и параметры законов распределения ЭУ и ЭТ основных групп типовых звеньев, в том числе плоских нормальных и тангенциальных стыков, а также остаточных перемещений в различных станках токарной группы.

8. Получены аналитические зависимости для определения передаточных отношений типовых звеньев, т.е. для приведения смещений звеньев в выбранных точках к контрольной точке системы с учетом схемы ее нагружения. Зависимости для основных случаев нагружения плоских тангенциальных стыков подтверждены экспериментально.

9. При исследовании смещений в системах с плоскими тангенциальными стыками на специальных стендах экспериментально получены основные зависимости для оценки суммарных смещений и параметров ЭУ и ЭТ систем с последовательно и параллельно связанными звеньями.

10. Разработана общая методика составления расчетных схем для оценки силовых характеристик станков на стадии проектирования. Обоснована целесообразность составления промежуточной блок-схемы при переходе от конструкции к ее расчетной схеме.

11. На основе методики составлены расчетные схемы и выполнена вероятностная оценка силовых характеристик поперечного суппорта станка мод. ЦД118 и шпиндельных узлов других токарных станков.

12. Экспериментальными исследованиями подтверждена адекватность моделей – математического описания расчетных схем – реальному процессу деформирования узлов при статическом приложении нагрузки.

13. Установлено, что оценка силовой характеристики состоит в суммировании возможных перемещений звеньев системы в выбранном направлении под действием приложенных усилий, что позволяет количественно определять долю перемещений в каждом стыке, деформации каждой детали в общем перемещении системы.

14. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной методики и практических рекомендаций по проектированию станков с заданными силовыми характеристиками на Московском производственном объединении по выпуску автоматических линий и специальных станков составляет в среднем 3500 руб. на каждую проектируемую модель станка.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Дьяконова Н.П. Вероятностная оценка характеристик жесткости стыков. – Известия вузов. Машиностроение, 1982, № 2, с.119-123.

2. Дьяконова Н.П. Расчетная схема для оценки жесткости системы с двумя плоскими стыками. – Известия вузов. Машиностроение, 1982, № 4, с.125-128.

3. Дьяконова Н.П. Анализ методов базирования и привода колец карданных подшипников при одновременном шлифовании внутреннего торца и дорожки качения одним кругом. – Станки и инструмент, 1980, № 3, с.27-29.

4. Чернянский П.М., Дьяконова Н.П., Широбоков С.М. О методе оценки характеристик жесткости станков в стадии проектирования и его экспериментальной проверке. – В сб.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Надежность и качество машин: испытание, диагностика, прогнозирование". – М.: ВСНТО, 1981, ч.П, с.109-111.

5. Дьяконова Н.П. Вероятностная оценка характеристик жесткости станков в стадии проектирования на примере поперечного суппорта токарно-револьверного станка мод.1Д118 – Москва, 1982, – 17 с. – Рукопись представлена МВТУ им.Н.Э.Баумана. Деп. в НИИмаш, август 1982, № 70МШ-Д82.

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА