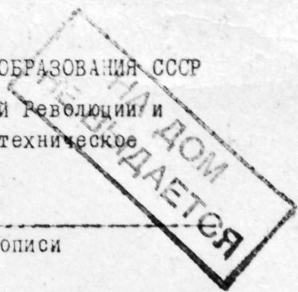


М388327

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

ДАЛЬСКИЙ Сергей Антонович

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ ПО ТРАЕКТОРИЯМ ДВИЖЕНИЯ

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 - 1982

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 А.С. Проников

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор Каминская В.В.
кандидат технических наук
Дубец В.С.

Ведущее предприятие — указано в решении специализированного Совета

Защита диссертации состоится " " _____ 1982 г.
на заседании специализированного Совета К 053.15.15 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана.
Москва Б-5, 2-я Бауманская ул.,

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

Ваши отзывы на автореферат просим направлять по почте
печатью, просим направлять по у

Автореферат разослан "

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО
СОВЕТА

К.Т.Н., доцент

М388327

Актуальность темы. В решениях XXVI съезда КПСС записано: "Ускорить внедрение автоматизированных методов контроля качества и испытания продукции, как составной части технологических процессов... Разработать и осуществить мероприятия по повышению действенности систем контроля качества и технологического уровня выпускаемой машиностроительной продукции..."

Особенно актуальны эти вопросы для сердцевины машиностроения — станкостроения.

В этой связи все возрастающее внимание уделяется вопросам испытаний станков, оценке их качества и проблемам прогнозирования надежности сложных станочных систем.

Общую оценку технического состояния рабочих органов станков, как правило, дают на основании сравнения частных выходных параметров (проверки на геометрическую точность, жесткость, стабильность позиционирования и т.д.) с допусками, оговоренными в нормативно-технической документации. Эти методы оценки технического состояния станков являются наиболее распространенными. Однако в результате таких разрозненных испытаний не удается корректно установить связи с параметрами, которые характеризуют точность рабочих органов станков в процессе их эксплуатации. Более того, в технической документации не регламентированы выходные параметры, которые характеризуют точность станка как одного из сложнейших элементов технологической системы.

Таким образом, выявление с одной стороны интегральных выходных параметров рабочих органов станков, определяющих их техническое состояние, а с другой стороны — установление взаимосвязи выходных параметров станка и процессов, возникающих при их эксплуатации, является актуальной задачей и в полной мере отвечает решениям партии и правительства.

Цель работы. Разработка научно-обоснованной методики по оценке технического состояния подвижных рабочих органов по пространственным траекториям при воздействии на станок эксплуатационных нагрузок. Создание специального измерительно-информационного комплекса для регистрации траекторий рабочих органов.

Методы исследования. В работе использованы методы математической статистики, сопротивления материалов и теории упругости, а также статистическое моделирование на ЭВМ. Экспериментальные исследования выполнены с использованием информационно-измерительного комплекса. В производственных условиях проведены контрольные проверки комплектующих деталей партии изготавлива-



емых многооперационных станков мод. МС12-250 с использованием современной регистрирующей и измерительной аппаратуры.

Научная новизна. Впервые рассмотрена физическая картина явлений для вскрытия закономерностей, описывающих процесс образования траекторий. На основе математического моделирования разработан метод расчета ожидаемых отклонений траектории шпиндельной головки, как функции конструктивных и технологических параметров, а также эксплуатационных нагрузок. Для аналитического описания пространственных областей траекторий использован соответствующий математический аппарат. В работе вскрыты физические закономерности, определяющие тренд выходных параметров (траекторий). Предложена методика расчета степени удаления текущих выходных параметров подвижных рабочих органов станков от рассчитанных допустимых значений. Определены численные значения предельных параметров траекторий как основного критерия оценки технического состояния исследуемого объекта.

Практическая ценность. Подтверждены научные и методические разработки, связанные с оценкой технического состояния рабочих органов. Новый методологический подход позволяет производить надежную и достоверную оценку технического состояния станка на основе вероятностного рассмотрения случайных физических процессов, происходящих в станочной системе при выполнении ею технологического цикла. Результаты работы используются на одном из заводов метрологическими и инженерными службами при испытаниях многооперационных станков. Выпущена опытная партия аппаратуры, используемая для исследования многооперационных станков как в специально оборудованных испытательно-диагностических центрах, так и непосредственно в цеховых условиях. Разработаны алгоритмы и пакеты научных программ на алгоритмическом языке "Фортран-4" для ЭВМ серии ЕС, используемых для математических моделей, представляющих процесс образования траекторий. Разработан пакет прикладных программ для статистической обработки результатов эксперимента. Реализация программ в производственных условиях позволила повысить точность расчетов, производимых конструкторскими отделами одного из предприятий.

Реализация результатов (внедрение). Методика оценки и информационно-измерительный комплекс технического состояния станка внедрены в производство головного станкостроительного предприятия. Фактический экономический эффект от внедрения составляет 41 тыс.руб. Принято решение о серийном выпуске данного вида мет-

рологического оборудования. Ожидаемый экономический эффект от внедрения оптико-электронных устройств в масштабах станкостроительного объединения составит 1,2 млн. рублей.

Апробация работы. Диссертационная работа доложена и обсуждена на научно-технической конференции молодых специалистов Московского автомобильного завода им.И.А.Лихачева (февраль 1981 г., Москва, п/о "ЗИЛ"). Метрологическая и практическая части работы были представлены в реферате "Диагностика сложных технологических систем с применением оптико-электронного измерительного комплекса", получившим первое место на конкурсе научных работ молодых ученых и специалистов факультета "Автоматизация и механизация производства" (март 1981 г., МВТУ им.Н.Э.Баумана). Основные разделы диссертации доложены и обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции с международным участием "Надежность и качество машин: испытания, диагностика, прогнозирование" (сентябрь 1981 г., Москва). Полностью работа доложена на кафедре "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана (1981 г.).

Публикации. Основной материал диссертации опубликован в пяти статьях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе освещаются перспективы развития отечественного и мирового станкостроения. Показана роль высокоавтоматизированных технологических комплексов типа многооперационных станков в современном производстве, а также перспективы расширения области применения данного оборудования в различных типах производства. Делается акцент на то, что сложные технологические комплексы, стоимость которых исчисляется сотнями тысяч рублей, могут успешно использоваться в промышленности при одном условии - высокой надежности всех элементов, т.е. от того, как будут сохраняться выходные параметры станков в течение всего периода эксплуатации. Поэтому контроль качества, диагностирование технологических комплексов является одной из важнейших задач современного станкостроения. Отмечается большой вклад советских ученых в области испытаний, диагностики и прогнозирования: Проникова А.С., Каминской В.В., Нахалетяна Е.Г., Решетова Д.Н., Пархоменко П.П. и др.

Произведен обзор литературы, посвященной испытаниям станков, как на отечественных станкостроительных предприятиях, так и на иностранных фирмах.

Показано, что испытания станков, согласно нормативно-тех-

нической документации, в основном имеют одну и ту же основу, которая содержит ряд недостатков.

В основном к таким недостаткам следует отнести:

1. Испытания станков (геометрические проверки) проводятся в условиях, заведомо отличных от эксплуатационных (редко с наложением статических нагрузок).

2. Проверки выходных параметров производятся разрозненно, искусственно создаются условия для обособленной регистрации контролируемого параметра. Не учитываются взаимные влияния факторов технологической системы.

3. Оценка качества станков под нагрузкой производится по изготовленным деталям. Такая оценка является весьма приближенной (косвенной), поскольку детали представляют собой отображения действия всей технологической системы.

4. В многочисленной технической документации не ставится вопрос о назначении тех выходных параметров, которые с достаточной степенью достоверности характеризовали бы непосредственно качество исследуемых станков.

Базируясь на новом методологическом подходе к испытанию сложных технологических систем, предложенном профессором Прониковым А.С. сформулированы цели и задачи для разработки частной методики по определению технического состояния шпиндельных головок многооперационных станков мод. МС12-250 горизонтальной компоновки.

Во второй главе разработаны экспериментально-теоретические положения частной методики оценки технического состояния многооперационного станка, в основе которой лежит анализ основного диагностического признака – пространственных траекторий рабочих органов типа шпиндельных головок при выполнении ими производственных функций.

Предложена методика сбора и классификации исходной информации для испытания данного вида станков в наиболее вероятном диапазоне эксплуатационных факторов.

Вся необходимая информация разбита по группам в соответствии с терминологией и принципами моделирования. Предложено четыре группы информации – кинематическая, связанная с движением рабочего органа во времени и пространстве, динамическая, изменяющаяся во времени, статическая, не изменяющаяся во времени и статистическая.

Произведен анализ существующей метрологической аппаратуры для регистрации выходных параметров станков, в том числе для траекторий. Констатируется, что для регистрации простран-

ственных траекторий подвижных рабочих органов, в момент осуществления ими технологических операций целесообразно использование специальной оптико-электронной системы с оптическим квантовым генератором (ОКГ). Предложен принцип работы, функциональная схема, методика расчета оптико-электронного устройства. Это устройство отвечает следующим требованиям:

- точность измерения линейных перемещений, единицы мкм;
- возможность измерения одновременно по двум координатам при движении объекта вдоль третьей координатной оси, при этом диапазон измерения поперечных перемещений может составлять до 0,5 мм, при продольном перемещении до 10.000 мм;
- вывод результатов измерений в графической форме и возможность обработки их в автоматизированном режиме при непосредственном подключении мини-ЭВМ;
- возможность проводить регистрацию траекторий в процессе обработки деталей на оборудовании;
- устойчивость к внешним воздействиям - вибрации, запыленности, колебаниям температуры, давления и влажности воздуха.

Сформулированы требования к технологической системе перед проведением испытаний, в том числе, к установке станка на специальном фундаменте, к заготовке, приспособлению и инструменту.

Описана последовательность экспериментальных исследований с использованием оптико-электронной системы и современных метрологических средств по регистрации параметров траекторий с учетом требований по планированию зондирующих и основных экспериментов.

Установлено, что пространственные траектории, которые являются совокупностью положений фиксированных точек (рис. 1) подвижных органов, в процессе их перемещений на заданном участке не повторяются. Например, при возвратно-поступательном движении шпиндельной головки на длине рабочего хода каждый раз регистрировалась новая траектория, но при этом траектории группировались вокруг оси Z , вдоль которой осуществлялись перемещения в принятой системе координат. При соответствующем количестве реализаций образовывалась пространственная область траекторий (область состояний).

Определено, что область состояний является реакцией станочной системы на воздействующие эксплуатационные факторы. При изменении состояний станочной системы осуществляется миграция (рис. 2) областей траекторий (тренд) - переход из зоны

I в зону 2. Установлена физическая закономерность возникновения тренда траекторий. Введено понятие об изменениях и переходах внутренних состояний станка, при его эксплуатации. Определены факторы, в наибольшей степени влияющие на отклонение реальных траекторий от геометрических образов, построены поверхности откликов (табличное представление).

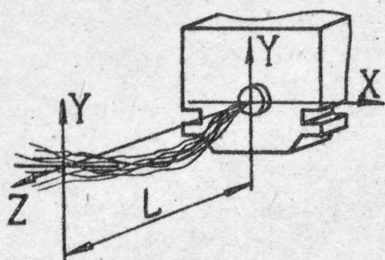


Рис. 1. Пространственная область траекторий

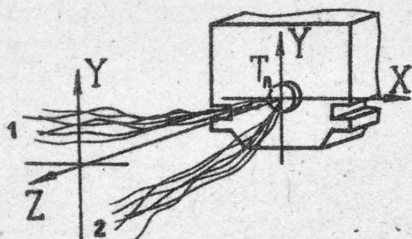


Рис. 2. Миграция областей траекторий

Для количественного описания параметров областей состояний и для удобства оперирования результатами экспериментов разработан пакет прикладных статистических программ, включающий алгоритмы расчета эмпирических распределений, аппроксимации реализаций по частным сечениям J_i плоскими фигурами (рис. 3), с вычислением их площадей S_i и углов наклонов центральных осей X', Y' по отношению к неподвижной измерительной системе координат X, Y . В пакет входит алгоритм для вычисления наиболее вероятной траектории, которая формируется с помощью метода наименьших квадратов и метода Чебышева путем моделирования связи центров группирований реализаций в частных сечениях, выбранных с определенным шагом.

Разработан алгоритм расчета стабильности параметров пространственных траекторий (по критерию Бартлетта). Предложено считать, что стабильность параметров траекторий является одним из критериев качества исследуемого объекта.

На основании математической обработки экспериментальных исследований сделан вывод о том, что параметры траекторий шпиндельной головки, зарегистрированные при выполнении станком технологических операций, практически всегда (90...95%) выходят за граничные значения, установленные нормативно-технической документацией. Последнее объясняется условиями испытаний на холостом ходу. В результате констатации этих фактов возникла объективная необходимость расчета с учетом эксплуатационных факторов граничных значений интегральной области состояний – основного критерия, по которому оценивается техническое состояние станка. В итоге, в главе разработаны все этапы экспериментально-теоретической части предлагаемой методики.

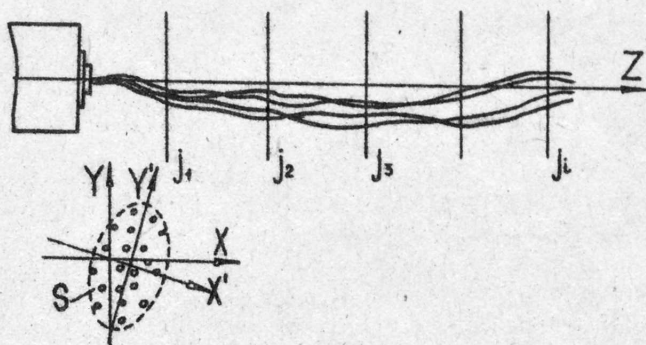


Рис. 3. Аппроксимация реализаций по частным сечениям плоскими фигурами.

В третьей главе даны физические представления, объясняющие отклонение реальных траекторий шпиндельной головки от геометрических образов, разработана детерминированная модель, как первый этап расчета численного значения критерия, относительно которого должно оцениваться ее техническое состояние.

Разработанная модель включает доминирующие факторы, влияющие на отклонение траекторий, выявленные экспериментальным путем в главе 2.

К доминирующим факторам относятся:

1. Особенности контактирования реальных поверхностей направляющих (геометрические факторы).

2. Изменения упругих деформаций собственно рабочего органа в зависимости от его положений.

3. Особенности контактных деформаций в стыках поверхностях, в зависимости от их расположения.

4. Тепловые деформации рабочего органа.

Блок-схема разработанной детерминированной модели представлена на рис. 4.

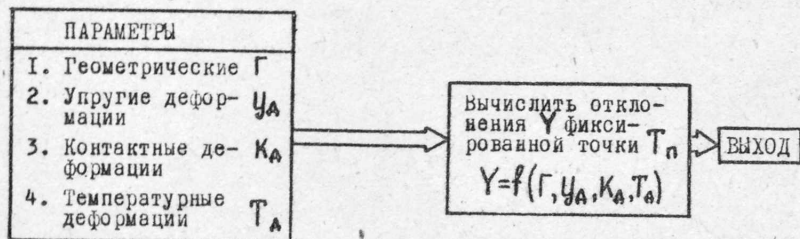


Рис. 4. Блок-схема детерминированной модели.

Для наиболее полного описания отклонений траектории с учетом особенностей изготовления направляющих была разработана аналоговая модель. Такая модель представлена на основе контактирования двух криволинейных поверхностей с соответствующими параметрами, поскольку направляющие как шпиндельной головки, так и станины обязательно имеют отклонение от плоскостности, описываемые в простейших случаях косинусоидальными или параболическими цилиндрами.

С целью достоверного представления реальных направляющих в виде кривых предложен метод аппроксимации поверхностей, рассматриваемых сопряжений, параболическими зависимостями.

$$y^q = A_1^q (z^q)^2 + B_1^q z^q + C_1^q,$$

$$y^u = A_1^u (z^u)^2 + B_1^u z^u + C_1^u,$$

индексо Q относится к аппроксимированным поверхностям направляющих шпиндельной головки;

индексо u относится к аппроксимированным поверхностям направляющих станины.

Базируясь на данном представлении о контактировании криволинейных направляющих, в аналитическом виде были представлены зависимости влияния каждого из рассматриваемых параметров модели на отклонение траекторий. Расчет отклонений траекторий основан на частных математических моделях, многократно опробован-

ных в практике расчета и испытаний станков. Авторами таких моделей являются проф. Проников А.С., проф. Решетов Д.Н., проф. Каминская В.В., проф. Левина Э.М., ученые в области теплофизики Дульнев Г.Н., Кулаков М.В.

Для расчета отклонений фиксированной точки, выбранной на рабочем органе, определялись движения одной кривой (направляющие шпиндельной головки) относительно другой (направляющие станины). С помощью методов аналитической геометрии представилось возможным получить в общем виде аналитическое выражение, позволяющее рассчитывать отклонение фиксированной точки как функцию положения рабочего органа.

где $y_{Tn}^{(r)} = y_{Tn} \cdot \cos \varphi_n - z_{Tn} \cdot \sin \varphi_n + y_{A_n, n} - y_{F_n, n}^a + y_{F_n, n-1}^a$,
 $y_{Tn}^{(r)}$ — отклонение y точки T_n для z_i вылета от влияния геометрических параметров контактирующих поверхностей;

y_{Tn}, z_{Tn} — координаты точки T_n в подвижной системе n координат, жестко связанной со шпиндельной головкой.

$y_{A_n, n}$ — ордината точки A_n контакта со стороны привода шпиндельной головки в неподвижной N системе координат, жестко связанной со станиной.

$y_{F_n, n}^a, y_{F_n, n-1}^a$ — ордината точки F_n контакта со стороны установки инструмента в подвижной системе N координат для вылета z_i, z_{i-1} .

φ_n — угол поворота подвижной координатной системы относительно неподвижной.

Аналитическое описание отклонений траекторий фиксированной точки в зависимости от собственно упругих деформаций производилось из условия, что представленная в виде бабки шпиндельная головка покоится на двух опорах, причем расстояние между опорами (точки контактирования двух кривых) является переменным и зависит от положения рабочего органа. Используя известные положения сопротивления материалов, а также принимая во внимание силы резания, массу шпиндельной головки и переменное расстояние между опорами, представилось возможным в общем виде найти аналитическую зависимость отклонений фиксированной точки как функции ее положения.

Отклонения траекторий фиксированной точки в зависимости от контактных деформаций в стыковых поверхностях направляющих основывалось на представлении об эксцентричном нагружении сопри-

гаемых поверхностей по двум дискретным зонам. Дано аналитическое описание отклонений фиксированной точки в зависимости от изменяющихся параметров дискретных сопрягающихся зон направляющих, массы шпиндельной головки и сил резания.

$$y_{Tn}^{(ka)} = \delta_{ni} + \delta_{Ti}$$

где δ_{Ti} - отклонение фиксированной точки T_n с учетом вылета Z_i ;

δ_{ni} - контактная деформация в зоне I (со стороны установки инструмента).

Для аналитического описания отклонений траекторий фиксированной точки в зависимости от температурных деформаций решены три задачи. Во-первых, установлена аналитическая зависимость параметров источников тепла, под которыми понимаются подшипники шпинделя, и избыточных температур на гранях корпуса шпиндельной головки. Во-вторых, описана закономерность деформирования корпуса шпиндельной головки с учетом конструктивных и компоновочных параметров. В-третьих, рассчитаны параметры движения деформированной шпиндельной головки по направляющим. В общем виде установлена аналитическая зависимость параметров траекторий фиксированной точки от температурных деформаций.

$$y_{Tn}^{(ka)} = \frac{Z_i}{2H} \alpha \cdot \Delta T \cdot L_n - H_r \frac{\alpha \cdot \Delta T \cdot L_n}{2H}$$

H, H_r - геометрические параметры шпиндельной головки по высоте;

α - коэффициент линейного расширения;

T - температура;

L, L_r - длины направляющих станины и шпиндельной головки.

В заключении главы проведена проверка работоспособности принятой модели. Первый этап проверки состоял в расчете траекторий фиксированной точки при различных значениях параметров детерминированной модели, а второй - в сравнении параметров расчетных траекторий с параметрами наиболее вероятных траекторий, при условии действия одних и тех же эксплуатационных факторов.

На основании сравнения целой серии вычисленных значений параметров траекторий с экспериментальными при одних и тех же состояниях системы установлена адекватность принятой математической модели. Расхождение вычисленных значений параметров траекторий с экспериментальными не превысило 25%. Установлено, что логические элементы модели соответствуют логическим элементам реальной системы, а математический аппарат представляет

функции, реализуемые системой.

В четвертой главе изложен метод расчета численных значений критерия, относительно которого предполагается оценивать качество шпиндельной головки. Для получения численных границ интегральной области состояний осуществлен переход от детерминированного математического описания параметров траекторий к вероятностному. Параметры, определяющие отклонение траекторий от идеальной прямой, были выражены в виде случайных величин с известными гистограммами распределения. Отличительной особенностью предложенного статистического моделирования на ЭВМ с использованием метода Монте-Карло является то, что полигон частот отдельного параметра соответствует допускам на изготовление направляющих шпиндельной головки и станины (допуски на отклонения от плоскостности) и на диапазон эксплуатационных нагрузок (силы резания и температуры). Гистограммы распределений построены непосредственно по данным метрологической лаборатории завода-изготовителя станков. При вычислении параметров траекторий использовались статистическая, динамическая и кинематическая информация (гл.2).

Использование метода Монте-Карло позволило вводить в ЭВМ входную информацию для искусственной реализации траекторий и определения ее параметров. В результате таких отдельных рассчитанных значений, представилось возможным получить поле рассеяния траекторий на плоскости YOZ .

Определение полей рассеяния траекторий, их ориентаций в рабочем поле станка осуществлялось по группам параметров (геометрическим, жесткостным и т.д.) как функции положения шпиндельной головки при движении ее вдоль оси Z . Рассчитанные поля рассеяния траекторий (области состояний по каждому параметру) удалось представить серией частных сечений, выбранных с определенным шагом, вдоль оси Z . В результате статистической обработки "следов" траекторий в отдельных сечениях определены законы распределений и коэффициенты относительного рассеяния λ . Используя результаты статистической обработки для каждого сечения, удалось с помощью метода вероятностного суммирования определить максимальное поле рассеяния - $\Delta_{гр}$ и положение центра группирования траекторий в частном сечении.

$$\Delta_{гр} = t \sqrt{\lambda_1 [\Pi T_{n(1)}]^2 + \lambda_2 [\Pi T_{n(2)}]^2 + \lambda_3 [\Pi T_{n(3)}]^2 + \lambda_4 [\Pi T_{n(4)}]^2},$$

где t - коэффициент, определяющий процент риска $\Delta_{гр}$;
 $\lambda_1 \dots \lambda_4$ - коэффициенты, зависящие от формы кривых распределения "следов" траекторий в отдельных сечениях;
 $ПТ_{n(j)}$ - поле рассеяния траекторий точки T_n в j -м сечении, в зависимости от геометрических характеристик направляющих;
 $ПТ_{n(Δ)}$ - поле рассеяния траекторий точки T_n в j -м сечении в зависимости от упругих деформаций шпиндельной головки;
 $ПТ_{n(κΔ)}$ - поле рассеяния траекторий точки T_n в j -м сечении в зависимости от упругих деформаций в стыке станина-шпиндельная головка;
 $ПТ_{n(τ)}$ - поле рассеяния траекторий точки T_n в j -м сечении в зависимости от температурных деформаций.

Определив связь между численными значениями $\Delta_{гр}$ в каждом сечении, удалось получить интегральную область состояний. Центры группирований траекторий были определены как половины полей рассеяния в каждом сечении, поскольку законы распределения имели коэффициент относительной асимметрии α_i близкий к 0. Расчет интегральной области состояний с доверительной вероятностью 0,97 в плоскости YOZ позволил считать, что совокупность реальных траекторий, образованных при различных комбинациях воздействующих факторов, всегда будет находиться внутри области при условии изготовления шпиндельной головки согласно нормативно-технической документации и при эксплуатации ее в допустимом диапазоне тепловых и силовых нагрузок.

На основании предложенного методологического подхода было оценено качество шпиндельной головки по траекториям движения. В частности, установлено, что исследуемый многооперационный станок способен выполнять возложенные на него функции при флуктуациях сил порядка 10 Н в значительном диапазоне допустимых эксплуатационных факторов (0...1200 Н). При возникновении силовых факторов порядка 1200...1300 Н и избыточных температурах в стыке направляющих 10°...15° С замечаются случайные выбросы областей траекторий (состояний) за границы интегральной области состояний. При уровне нагружения силовыми факторами, начиная с 1400 Н и выше области траекторий (состояний) пересекают границы интегральной области состояний во всем возможном диапазоне пе-

ремещений шпиндельной головки. Таким образом многооперационный станок надежно выполняет возложенные на него функции при действии силовых факторов от 0 до 1200 Н и избыточных температурах в стыковых зонах направляющих до 12,7°. При действии силовых факторов выше 1300 Н и избыточных температурах порядка 15° станок не способен выполнять возложенные на него функции.

Анализ параметров смоделированной интегральной области состояний позволяет разработать метод сужения ее численных границ для предъявления требований к станкам для дальнейшего повышения их качественных характеристик.

В пятой главе показано, что при современном проектировании и производстве металлорежущих станков возможно производить оценку качества подвижных рабочих органов, используя разработанные методические материалы.

Методические рекомендации для оценки качества рабочих органов в производственных условиях содержат два раздела. Первый раздел "Определение численных границ интегральной области состояний" содержит классификацию, методику сбора и обработку информации об условиях эксплуатации исследуемого рабочего органа, сбор и обработку информации об условиях изготовления рабочего органа, обработку конструкторской документации, определение аналоговой и математических моделей, определяющих параметры траекторий. Даны методические положения по моделированию численных границ интегральной области состояний, как функции положения рабочего органа.

Второй раздел "Определение выходных параметров рабочих органов – пространственных траекторий" содержит выбор метрологического оборудования, вопросы подготовки технологической системы перед испытаниями, методику регистрации траекторий рабочих органов как на холостом ходу, так и в условиях эксплуатации. Предлагается вариант информационно-вычислительного комплекса для оценки параметров траекторий как непосредственно в цеховых условиях, так и в испытательных центрах. Даются методические указания по расчету необходимого количества реализаций при конкретных видах испытаний. Разработаны таблицы, на основании которых пользователь данного вида станка будет информирован о реакциях рабочего органа на диапазон эксплуатационных нагрузок.

ВЫВОДЫ

1. Пространственные траектории подвижных рабочих органов станков являются наиболее точным и объективным интегральным выходным параметром, т.е. прямым диагностическим признаком, с помощью которого удобно оценивать техническое состояние объекта исследования.

2. Разработана частная методика оценки технического состояния шпиндельной головки многооперационного станка, включающая в себя теоретические положения, приборное оснащение и математический аппарат.

3. Установлено, что основными факторами, формулирующими реальную траекторию шпиндельной головки, являются геометрические параметры направляющих, упругие и температурные деформации, жесткость стыков в сопряжениях. С учетом этих факторов разработана детерминированная модель формирования траекторий движения шпиндельной головки, проверена ее адекватность с фактическими траекториями при различных сочетаниях эксплуатационных нагрузок.

4. На базе детерминированной модели, вскрывающей связь выходных параметров шпиндельной головки с физическими процессами, происходящими в станке, осуществлен переход к вероятностной модели механизма образования реальных траекторий.

5. С помощью вероятностной модели получены численные границы интегральной области состояний - критерия оценки технического состояния шпиндельной головки. Отличительной особенностью модели интегральной области состояний является многократное случайное генерирование основных исходных данных для расчета (метод Монте-Карло) в соответствии с гистограммами распределения параметров.

6. Предложен расчетный вариант сужения численных границ интегральной области состояний для дальнейшего повышения качественных характеристик станков.

7. Проведенные экспериментальные исследования позволили дать объективную характеристику техническому состоянию шпиндельной головки по параметрам траекторий. Определены параметры областей состояний при эксплуатации станка. Вскрыты физические предпосылки, объясняющие природу тренда траекторий.

8. Разработано оптико-электронное устройство, основанное на фазовом методе, в качестве источника света применен опти-

ческий квантовый генератор. Устройство позволяет регистрировать траектории движения рабочих органов металлорежущего оборудования как при исследовании его в специально оборудованных испытательно-диагностических центрах, так и при диагностике машин в процессе эксплуатации их в цеховых условиях.

9. Созданы пакеты прикладных программ для статистической обработки экспериментальных данных, позволяющие дать полные характеристики наиболее вероятных траекторий с полями рассеяния, их пространственной ориентацией и представить результаты вычислений в удобном для использования виде.

10. Предложены общие методические рекомендации по определению качества рабочих органов многооперационных станков горизонтальной компоновки на приемно-сдаточных испытаниях.

11. Практический результат заключается в надежной и достоверной оценке технического состояния станка на основе вероятностного рассмотрения случайных физических процессов, происходящих в станочной системе при выполнении ею технологического цикла.

12. Результаты диссертационной работы использованы при выполнении исследовательских тем при разработке технической документации на станкостроительном производственном объединении. Использование макета оптико-электронного устройства в приемно-сдаточных испытаниях составляет фактический годовой экономический эффект 41 тыс.рублей.

13. На основании проверки работоспособности и эффективности макета оптико-электронного устройства принято решение о серийном выпуске данного вида метрологического оборудования. Ожидаемый экономический эффект от внедрения оптико-электронных устройств на производственном объединении составит 1,2 млн.рублей.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дальский С.А., Утенков В.М. Комплексная оценка точности перемещения рабочих органов металлорежущих станков. - В сб.: Технология, организация и экономика машиностроительного производства. - М.: НИИМАШ, 1981, вып.5, с.4-5.

2. Дальский С.А., Козлов Н.В. Влияние температурных деформаций на параметры траекторий подвижных рабочих органов. - Промышленность Армении, 1981, № 7, с.22-24.

3. Проников А.С., Дальский С.А., Самойлов В.Б. Использование оптико-электронных средств для контроля качества металлорежущих станков. - В сб.: Технология, организация и экономика машиностроительного производства. - М.: НИИМАШ, 1981, вып.1, с.6-7.

4. Самойлов В.Б., Дальский С.А. Современные бесконтактные методы измерения точности металлорежущих станков. - В сб.: Технология, организация и экономика машиностроительного производства. - М.: НИИМАШ, 1981, вып.4, с.5-6.

5. Дальский С.А., Самойлов В.Б., Козлов Н.В. Оценка качества металлорежущих станков по их выходным параметрам. - В сб.: Надежность и качество машин: испытание, диагностика, прогнозирование. - Тез. докл. Всесоюзной научно-техн. конференции 14-16 сент. 1981г., г.Москва. - М.: ВСНТО, 1981, с.118-120.