

М 417516
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

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

На правах рукописи
УДК № 621.941-229.3

МИРОНЧЕНКО Владимир Ильич

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ СТАНКОВ ПО ВЫХОДНЫМ ПАРАМЕТРАМ
ТОЧНОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ ТОКАРНОГО СТАНКА)

Специальность 05.03.01

Процессы и машины обработки материалов резанием;
автоматические линии

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-1984 г.

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена на машиностроительном предприятии.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор, заслуженный деятель
науки и техники РСФСР
А.С. Проников

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор В.Г.Беляев,
кандидат технических наук,
доцент А.С.Васильев

Ведущее предприятие — станкостроительный завод "Красный
пролетарий" им.А.И.Временова

Защита состоится "4" "июня" 1984 г. на заседании
специализированного Совета КО 53.15.15 в Московском Высшем
Баумана по адресу: 107005,

ляре, заверенный печатью, просим

комиться в библиотеке МВТУ

" мая 1984 г.

Р.К. Мещеряков

Р.К.Мещеряков .

М417516

Актуальность темы. В решениях XXVI съезда КПСС особое внимание уделяется развитию отраслей промышленности, занимающихся производством средств производства. При этом подчеркивается необходимость "...ускорить внедрение автоматизированных методов контроля качества и испытания продукции как составной части технологических процессов...". В связи с этим вопросы разработки методов и средств для оценки качества и надёжности металлообрабатывающих станков и их узлов приобретают особую значимость.

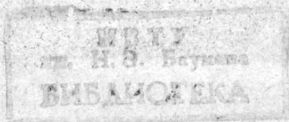
Одним из основных узлов многих металлообрабатывающих станков является шпиндельный узел, от качества которого во многом зависит качество станка в целом и качество изготавливаемых на нём деталей. Согласно данным ряда исследований, например, биение оси шпинделя может при токарной обработке вносить до 35% в погрешность формы изготавливаемой детали.

Существующие методы оценки технического состояния шпиндельных узлов по основным показателям их технического качества (ГОСТ 22851-77), как правило, не учитывают случайную природу факторов, действующих при эксплуатации, а выбор контролируемых выходных параметров не имеет четкого обоснования. Поэтому актуальной является задача создания методов интегральной оценки состояния шпиндельных узлов по выходным параметрам точности с учетом спектра эксплуатационных нагрузок.

Цель работы. Разработка программного метода оценки технического состояния шпиндельных узлов металлообрабатывающих станков с учетом случайной природы эксплуатационных факторов и их влияния на выходные параметры точности.

Методы исследования. В работе применялись методы теории надежности, теории сопротивления материалов, расчета и конструирования станков, теории резания материалов, теории вероятностей, математической статистики, метрологии. Экспериментальные исследования проводились в цеховых условиях на токарных станках моделей 1К61МТ и 96ТС1 с помощью специально разработанной аппаратуры с использованием оригинальных бесконтактных измерительных преобразователей высокой точности.

Научная новизна. Для оценки технического состояния шпиндельных узлов металлообрабатывающих станков разработан программный метод испытаний, учитывающий случайную природу эксплуатационных фак-



торов и их влияние на статистические характеристики выходных параметров точности. Обоснован выбор показателей качества как вероятностной нахождения значений спектральных составляющих параметрически заданной фазовой траектории характеристического вектора в пространстве выходных параметров в заданных пределах. Предложено определение запаса надежности по заданному уровню, учитывающее вероятностный характер задания границы допуска.

Практическая ценность. Использование результатов работы в системе управления качеством выпускаемой продукции позволяет получать информацию о точностных характеристиках шпиндельных узлов, объективно оценивать качество различных видов ремонта. Результаты испытаний по разработанной методике дают информацию для диагностики шпиндельных узлов станков, позволяют разработать мероприятия и определить условия работы узлов, обеспечивающие заданную параметрическую надёжность и соответственно повысить качество изготавливаемых деталей.

Реализация работы. Материалы работы внедрены на автозаводе им. И.А.Лихачёва.

Использование предложенных методов и средств при управлении качеством выпускаемой продукции позволяет обеспечить годовой экономический эффект в размере 6,8 тыс. рублей.

Апробация работы. Основные материалы работы докладывались на I-й Всесоюзной научной конференции "Научно-техническое сотрудничество "Предприятие-ВУЗ" на примере автомобильной промышленности", 1980 г. в г. Москве, на Всесоюзных научно-технических конференциях "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов", 1982 г., "Робототехника и автоматизация производственных процессов", 1983 г. в г. Барнауле, на семинарах и заседаниях кафедры "Металлорежущие станки и автоматы" в МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1980-1983 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ, из них 2 – авторские свидетельства.

Объём работы. Диссертация изложена на 125 страницах основного текста и включает введение, четыре главы с выводами, общие выводы по работе, приложения, список литературы из 141 наименования, содержит 5 таблиц и 48 рисунков.

В первой главе дан обзор существующих методов испытаний станков и их узлов. Отмечено, что в работах советских ученых В.А.Кудинова, В.В.Каминской, А.С.Проникова, А.В.Пуша, Д.Н.Решетова, зарубежных — Е.Барра, Т.Османа, Ф.Захма и других были исследованы и определены факторы, влияющие на точностные характеристики шпиндельных узлов. Однако анализ работ в этом направлении показывает, что существующие методы оценки их качества по отдельным связям между входным фактором и выходным параметром при фиксации уровней остальных факторов, как правило, не позволяют дать интегральную оценку качества узла по выходным параметрам точности. Отсутствует и единство в понятии о выходных параметрах узла, определяющих его работоспособность, что приводит к разнообразию как измерительных схем, так и самих методов.

По учету характера действующих факторов можно выделить два подхода: первый рассматривает детерминированные условия эксплуатации узла, второй учитывает вероятностную природу действующих факторов, в том числе статистические характеристики условий эксплуатации. В работах проф. А.С.Проникова предложен общий методический подход к оценке параметрической надежности станков и разработан программный метод их испытаний. Основной целью испытаний является оценка сопротивляемости станка спектру внешних воздействий, отражающих эксплуатационные нагрузки, и определение областей состояний для регламентированных выходных параметров (т.е. областей, в которых с заданной вероятностью находятся значения этих параметров). В качестве выходных параметров предлагается принять показатели точности перемещений по заданным траекториям фиксированных (опорных) точек исследуемого узла. Предлагается несколько вариантов испытаний в рамках программного метода: по экстремальному уровню, физико-статистического моделирования и другие. Наиболее перспективным является вариант, использующий метод физико-статистического моделирования, предполагающий наличие математической модели исследуемого узла.

В данной работе указанный подход развит применительно к оценке шпиндельных узлов. Для разработки программного метода оценки технического состояния шпиндельных узлов были решены следующие задачи:

разработать метод, позволяющий с заданной точностью и дос-

товерностью оценить параметрическую надежность шпиндельных узлов, их надежность по заданным характеристикам выходных параметров точности;

определить возможности разработанного метода по сравнению с существующими и установить условие целесообразности его применения;

создать измерительно-информационный комплекс для испытаний шпиндельных узлов токарных станков в производственных условиях;

провести в производственных условиях исследования шпиндельных узлов токарных станков согласно разработанному методу с целью определения влияния условий эксплуатации на показатели их качества, а также аттестацию этих узлов.

Во второй главе изложены основные теоретические положения метода и проведено сравнение с существующими. Результаты предварительных экспериментов, проведенных на станках мод. ICBMT и 95TCI, показали, что метод оценки качества по экстремальному уровню в данном случае неприемлем, в силу немонотонности связи значений выходных параметров и действующих факторов, а метод физико-статистического моделирования требует построения нелинейной математической модели, для определения значений параметров которой необходимо проведение уже при пяти факторах большого количества натурных испытаний (~ 1000). Для оценки параметрической надежности при количестве факторов не менее пяти преимущество по количеству испытаний при заданной точности и достоверности оценки имеет метод статистических испытаний, который не требует наличия математической модели узла, и который был использован при разработке программного метода. Из целевого назначения шпиндельного узла следует, что основной выходной характеристикой является положение его оси в месте крепления приспособления. Поэтому его передний фланец был принят в качестве базового для определения значений выходных параметров, тем более, что его деформации, согласно расчету, значительно меньше деформации шпинделя и для станка мод. ICBMT не превышают $0,29 \text{ мкм}$ при действующей силе 1000 н . В качестве измерительной базы, согласно ГОСТ 22267-76, выбрана сталь и, по рекомендации ИСО, выбрана неподвижная относительно этой базы декартова система координат. В качестве комплексной выходной характеристики узла принято положение в данной системе координат характеристического

вектора, нормального к плоскости торца переднего фланца в точке ее пересечения с осью шпинделя. С учетом схемы обработки детали на токарном станке задача сведена к плоскому случаю, и выходными параметрами шпиндельного узла являются координаты положения начала проекции характеристического вектора в горизонтальной плоскости X_c, Z_c и угол ее α_c с осью Z , для регистрации которых достаточно трех датчиков. Выведена связь между показаниями датчиков, координатами их расположения и значениями выходных параметров в объемном и плоском случае.

Спектральная плотность фазовой траектории характеристического вектора в пространстве выходных параметров для каждого сочетания значений действующих факторов представлена в виде

$$g_{\Delta l} = c_{i_0}^2 \delta(\omega) + 0.25 \sum_{j=1}^{\infty} c_{ij}^2 \delta(|\omega| - \omega_j), \quad (I)$$

где $\delta(\dots)$ - дельта-функция Дирака; $i = 1; 2; \dots, k$, k - количество выходных параметров; c_{i_0} характеризует положение центра биений; c_{ij} - амплитуду биений, а члены $c_j > 1$ - более высокие гармоники; $\omega_j = j \cdot \omega_0$, ω_0 - скорость вращения шпинделя. Согласно результатам исследовательских работ, для токарного станка C_{x_0} , C_{z_0} корреляционно дают вклад в погрешность размера детали, C_{α_0} - в конусность, C_{x_1} - овальность, C_{z_1} - в неплоскостность торца. Поэтому характеристики распределений значений c_{ij} приняты показателями качества.

Доказано, что без ограничений на связь между параметрами общую параметрическую надежность P можно оценить через надежность по отдельным параметрам P_{0i} ($i = 1, 2, \dots, k$) и при

$$P_M = \min P_{0i} \geq 1 - 1/K \quad \text{и} \quad P_M - \sum_{i=1}^K P_{0i} + K - 1 \leq 2\varepsilon \quad (2)$$

будет $P_0 = 0.5 (P_M + \sum_{i=1}^K P_{0i} - K + 1) \pm \varepsilon, \quad (3)$

где ε - точность оценки, " k " - количество выходных параметров (в данном случае $k = 3$).

Все факторы, влияющие на значения выходных параметров, были разделены на две группы:

1. Факторы, которые могут изменяться при испытаниях, значения которых практически невозможно активно изменить и действующие на шпиндельный узел не только при его работе (температура в пехе, напряжение питания приводов и т.п.).

2. Факторы, действующие только при работе узла (силы, мо-

менты сил, скорость вращения шпинделя).

Значения первой группы факторов необходимо контролировать на соответствие техническим условиям эксплуатации, если этого нельзя обеспечить при испытаниях. Значения второй группы при испытаниях задаются нагрузочной системой. На основе анализа номенклатуры деталей и технологии их изготовления на конкретной модели станка в данном производстве по известным методикам строятся функции распределений значений факторов, которых в данном случае шесть: проекции силы резания f_x, f_y, f_z , координаты точки ее приложения r_x, r_z и скорость вращения шпинделя.

При определительных испытаниях по данному методу статистических испытаний, задавая точность ε и достоверность γ оценки общей параметрической надежности, а также ее априорное значение P_a и определяется количество испытаний первого этапа:

$$N_1 = P_a (1 - P_a) t_{\gamma}^2 / \varepsilon^2, \quad (4)$$

где t_{γ} находится в таблицах по γ . Затем, в соответствии с законами распределения факторов, производится статистическая выборка N_1 групп их значений и проводится N_1 испытаний, по результатам которых определяется апостериорное значение P_1 . Подставляя P_1 в (4), определяют N_2 , которое сравнивается с N_1 и при $N_1 \geq N_2$ испытания прекращаются, в противном случае проводится второй этап $N_{e2} = N_2 - N_1$ испытаний с аналогичной выборкой N_{e2} групп значений факторов. По совокупности результатов испытаний обоих этапов определяется P_2 , а затем N_3 по (4), и процесс повторяется до выполнения на l -том этапе условия $N_e \leq N_{e-1}$, после чего испытания прекращаются и $P = P_{e-1}$.

Доказано, что для работоспособного шпиндельного узла при $P > 0,5$ критерием необходимости проведения следующего этапа испытаний является условие

$$P_e < P_{e-1}. \quad (5)$$

Выведено, что при отсутствии выхода значений параметров за заданные пределы, когда выражение (4) неприменимо, необходимое количество испытаний равно

$$N_{no} = \lg(1 - \gamma) / \lg(1 - 2\varepsilon). \quad (6)$$

На основании использования данных зависимостей предложен

программный метод контрольных испытаний, при котором по заданному контрольному значению P_g общей параметрической надежности узла, точности и достоверности оценки по (4) определяется возможное количество испытаний N_M . В качестве дополнительных критериев прекращения испытаний используются условия (6) и

$$N_{ng} = (1 - P_g) N_M - N_{g1} < 0 \quad (7)$$

где N_{g1} - количество выходов значений параметров за заданные пределы области работоспособности. Эти условия целесообразно контролировать в процессе проведения испытаний. Так как количество испытаний является случайной величиной, доказано, что для завершения испытаний с большей вероятностью на первом этапе необходимо выбирать

$$N_1 = \max(N_{\varepsilon}, N_c), \quad (8)$$

где N_{ε} - определяется по (4) при $P=1-\varepsilon$, а N_c - математическое ожидание количества испытаний. Условием целесообразности применения данного метода является:

$$\sum_{i=1}^{N_g} \eta_i > N_M, \quad (9)$$

где N_g - количество испытаний другими методами, обеспечивающее такую же точность и достоверность оценки, η_i - безразмерный коэффициент, характеризующий относительную трудоемкость проведения одного эксперимента.

На основе вышеприведенного подхода дано теоретическое развитие метода для статистического определения условий работы узла, обеспечивающих с заданной точностью и достоверностью параметрическую надежность узла путем разбиения области возможных значений действующих факторов на непересекающиеся подобласти с одинаковым количеством выборок и анализом результатов испытаний в каждой подобласти с целью получения локальных оценок параметрической надежности в них.

Достоинством данного метода является также то, что он позволяет одновременно с оценкой параметрической надежности шпиндельного узла осуществлять контроль его качества и станка по ряду других критериев (по потребляемой мощности, акустическому и др.).

В третьей главе на основе анализа поставленных задач сформулированы требования и описан разрабатываемый на их основе изме-

нительно-информационный комплекс, приведена реализованная методика испытаний шпиндельного узла.

Показано, что для корректного решения поставленных задач необходимо, чтобы комплекс отвечал следующим требованиям:

бесконтактность измерения;

высокая точность измерения — до десятых долей микрометра, диапазон — до сотни микрометров;

линейность АЧХ и ФЧХ измерительных преобразователей до 200 Гц для обеспечения возможности простого определения спектральных составляющих до третьего члена разложения;

устойчивость аппаратуры к внешним воздействиям, имеющим место при работе в цеховых условиях;

обеспечение нагрузочной системой точного задания значений действующих факторов во всех областях их действия и удобство ее переналадки.

Проведенный анализ существующей метрологической аппаратуры, позволяющей получать информацию о выходных параметрах шпиндельных узлов, показал отсутствие серийно выпускаемых измерительных средств, удовлетворяющих всем вышеуказанным требованиям, что явилось причиной разработки новых измерительных средств для решения поставленной задачи. На основе анализа физических принципов, лежащих в основе работы измерительных преобразователей, пригодными для решения задачи оказались взаимно дополняющие друг друга оптический триангуляционный метод (а.с. № 938004) и метод вихревых токов. На их основе были созданы и исследованы оригинальные бесконтактные измерительные преобразователи (а.с. № 938019). Приведено описание и результаты исследований оптикоэлектронного устройства на приборах с зарядовой связью и вихретоковых преобразователей (ВТП). Погрешность измерения выходных параметров вихретоковым преобразователем составляет 0,5 мкм, линейный диапазон статической характеристики преобразования — от 0,3 мм до 1,0 мм для использованных типов преобразователей (Ø 6 и Ø 10 мм соответственно).

Приведена структурная схема и описание информационно-измерительного комплекса, включающего бесконтактную измерительную систему и систему имитации механических воздействий. Бесконтактная измерительная система содержит оптикоэлектронный прибор, 6-ти канальный бесконтактный измеритель размеров на основе ВТП-ИР-6, самописец И338, цифровой вольтметр В7-27А/1, узлы креп-

ления преобразователей, измерительную оправку. Подготовка испытаний и обработка их результатов производилась с использованием ЭВМ ЕС 1033. Разработаны пакеты прикладных программ на языке ФОРТРАН-IV, содержащие программы построения функций распределений значений действующих факторов, выборки групп их значений для эксплуатационного, нормального и равномерного распределений, обработки результатов измерений (приведены в Приложении).

Разработанная система имитации внешних воздействий включает специальную нагрузочную оправку, динамометры сил сжатия и растяжения, порошковый тормоз ПТ-2,5М, блок питания порошкового тормоза ТЕС-13, крепежную оснастку.

На основе анализа требований к погрешностям деталей, изготавливаемых на исследуемых станках IEGIMT и 65TCI назначены границы области работоспособности при общей параметрической надежности шпиндельного узла $P = 0,95$, которые составили 0,5 от значения допуска на погрешности деталей соответственно по шестому и седьмому качествам (для IEGIMT - в табл. I). Полагая точность оценки

$\epsilon = 0,05$ и достоверность $\gamma = 0,95$ получаем: $N_M = 73$, $N_{kg} = 4$, $N_{no} = 29$, $N_1 = 39$. На основе анализа номенклатуры и технологии

	A_{ig}	$C_{i,og}^2$	$C_{i,ig}^2$
X	$\pm 5 \text{ мкм}$	9 мкм^2	9 мкм^2
Z	$\pm 6 \text{ мкм}$	16 мкм^2	16 мкм^2
α	$\pm 5 \cdot 10^{-5} \text{ рад}$	$16 \cdot 10^{-10} \text{ рад}^2$	$16 \cdot 10^{-10} \text{ рад}^2$

изготовления на исследуемых станках деталей рассчитаны на ЭВМ и построены кумулятивные линии функций распределений шести указанных факторов. В соответствии с функциями распределений факторов на ЭВМ производилась статистическая выборка групп значений факторов и составлялась таблица испытаний. Предварительная оценка качества узла и установка измерительной оправки производилась с помощью оптикоэлектронного прибора. Затем устанавливались ВПН согласно измерительной схеме. Регистрация результатов осуществлялась самописцем И338. Перед испытаниями станок прогревался под нагрузкой в течение 2 часов. При проведении испытаний по испытательной таблице нагрузочной системой задавались значения указанных факторов, и, после завершения переходных процессов, обусловленных запуском станка, производилась запись показаний датчиков в течение 10 с. После этого станок останавливали, устанавлива-

ли следующую группу значений факторов и процесс повторялся до завершения I-го этапа. В зависимости от результатов испытаний возможны следующие исходы: при (6) узел имеет высокое качество и $P = I - \varepsilon \pm \varepsilon$, при (7) узел имеет недопустимо низкое качество, при $P_2 > P_1 > P_g$, $P_0 = \min(P_2, I - \varepsilon_1)$, причем ε_1 определяется из (4) путем его решения относительно ε для P_2 и N_1 , при $P_1 < P_g$ и $N_{k,g} > 0$ по (4) определяется $N_{g,2}$ с контролем условия (7), проводится $N_{g,2} - N_1$ испытаний, по результатам которых дается заключение о техническом состоянии узла. При $P_1 > P_2 > P_g$ по (4) определяется N_2 и проводится второй этап $N_2 - N_1$ испытаний с последующим определением P_3 , и процесс повторяется до наступления одного из указанных исходов.

В соответствии с вышеизложенным и с учетом влияния погрешности измерения выходных параметров на результат были проведены определительные испытания шпиндельных узлов станков IE61MT и 65TCT. Испытания были проведены для трех типов распределений варьируемых факторов: эксплуатационного, полученного на основе анализа типажа обрабатываемых на данных станках деталей (кумулятивные линии для F_x , F_y , F_z представлены на рис.1), равномерного в той же области действия факторов, и нормального с малой величиной дисперсии.

В четвертой главе дан анализ полученных результатов, проведена оценка погрешностей и рассмотрена возможность прогнозирования состояния шпиндельных узлов при изменении условий эксплуатации.

Проведенные предварительные эксперименты показали, в частности, что изменение F_z от 0 до 560 и при постоянных уровнях остальных факторов уменьшает амплитуду радиального биения шпинделя на 35-65% и подтвердил оложный нелинейный характер влияния факторов на значения выходных параметров шпинделя (рис.2).

Анализ результатов предварительных экспериментов позволил установить существенно нелинейную и, в ряде случаев, немонотонную зависимость значений выходных параметров шпиндельных узлов от действующих факторов, подтвердил необходимость оценки состояния узла при одновременном действии всего комплекса факторов, показал невозможность использования в данном случае метода оценки по экстремальному уровню, а также сложность построения адекватной модели этих узлов методами физико-статистического моделирования, что обусловило развитие вышеизложенного варианта программного метода испытаний.

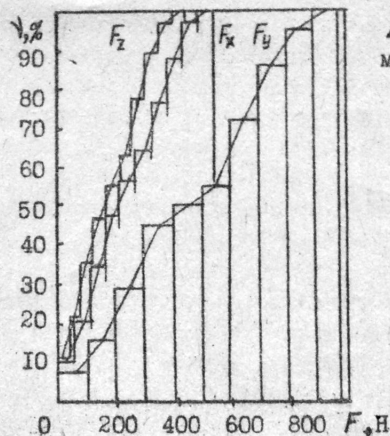


Рис. 1. Статистические функции распределений значений факторов F_x, F_y, F_z

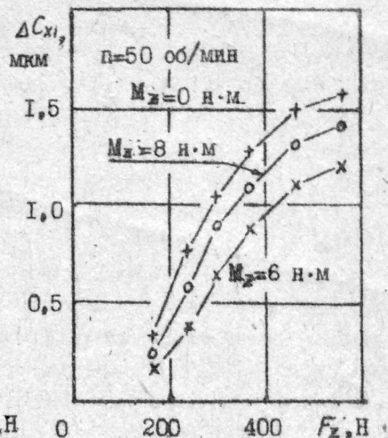


Рис. 2. Зависимость изменения амплитуды радиального биения шпинделя от F_z

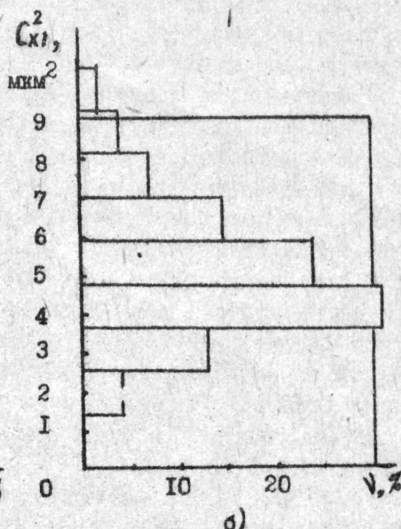
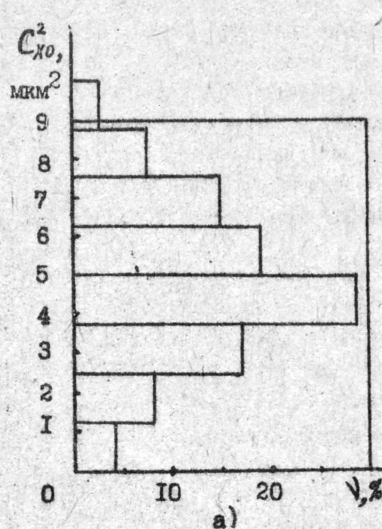


Рис. 3. Гистограммы C_{x0}^2 и C_{x1}^2 при эксплуатационном распределении значений факторов

Установлено, что траектории начала характеристического вектора могут пересекаться для различных значений факторов. Показано, что функции распределений значений спектральных составляющих выходных параметров и значения параметрической надежности как общей, так и по каждому выходному параметру зависят от вида функций распределений действующих факторов.

Показано, что, хотя распределения значений факторов отличаются от нормальных, функции распределений значений спектральных составляющих $C_{i,0}$ выходных параметров близки к нормальным, причем их дисперсии имеют наибольшее значение для равномерного распределения значений факторов. Установлено существование спектральной составляющей $C_{i,1}$, характеризующей биения, при всех использованных для испытаний значений факторов. Выявлено, что шпиндельный узел станка мод. 1Е61МТ при эксплуатационном распределении значений факторов имеет более низкую параметрическую надежность, чем при других типах распределений, для которых проводились испытания, а самую высокую параметрическую надежность он имеет при использованном нормальном распределении. При $\varepsilon = 0,05$, $\gamma = 0,95$ для вышеуказанных эксплуатационного, равномерного и нормального распределений соответственно $P=0,93$, $P=0,94$, $P=0,97$. На рис.3 представлены гистограммы распределений значений первых двух спектральных составляющих $C_{x,0}^2$ и $C_{x,1}^2$ для станка 1Е61МТ.

Испытания, проведенные для эксплуатационного распределения через 18 мес. показали, что его общая параметрическая надежность снизилась и составляет 0,92 при тех же значениях ε и γ . При этом изменение значений показателей надежности по отдельным выходным параметрам различно: наименьшее для осевой составляющей и наибольшее для радиальной.

Установлено, что для данного эксплуатационного распределения значений факторов шпиндельный узел станка мод. 65ТС1 также имеет низкую параметрическую надежность ($P=0,90$ при тех же значениях ε и γ). Выявлено существование условий эксплуатации шпиндельных узлов, т.е. наличие таких областей значений факторов и их распределений, которые обеспечивают большую параметрическую надежность.

Предложено определять эти условия путем разбиения области существования факторов на непересекающиеся подобласти с последующим определением значений параметрической надежности в них вышеизложенным методом. Проведенный анализ результатов испытаний

указанных шпиндельных узлов с целью определения подобластей значений факторов, обеспечивающих заданную параметрическую надежность показал, что они локализованы в подмножестве больших значений факторов F_z и n и малых значений F_x и z_z . Из изложенного также следует, что равномерное распределение значений факторов не позволяет получить граничное значение параметрической надежности шпиндельного узла в данной области действия факторов, поэтому для определения ее значения в конкретных условиях эксплуатации следует использовать эксплуатационное распределение.

На основе анализа вышеизложенного предложено новое определение понятия запаса надежности по уровню $\gamma_0: K_{\gamma_0} = A_{\gamma_0} / A'_{\gamma_0}$ где A_{γ_0} - заданное значение, которое не должен превышать выходной параметр A с вероятностью γ_0 , A'_{γ_0} - значение, которое фактически не превышает значения этого выходного параметра с вероятностью γ_0 . Так, для шпиндельного узла станков мод. 1Е6ТМ и 65ТС1 для C_{x_1} соответственно $K_{0,95}=1,12$ и $K_{0,95}=1,05$ для указанного нормального распределения значений факторов.

Проведен глубокий метрологический анализ результатов исследований. Дано обобщение программного метода статистических испытаний с учетом влияния погрешности измерения выходных параметров на результат.

Из сравнительного анализа полученных результатов с результатами других авторов следует, что характеристики распределений вышеуказанных спектральных составляющих содержат информацию для вероятностной диагностики шпиндельного узла: математическое ожидание значений центра углового биения S_{Δ_0} корреляционно связано с жесткостью шпинделя и несоосностью шпиндельных опор, S_{z_0} - жесткостью упорного подшипника задней опоры, S_{x_0} - подшипника передней опоры и т.д.

Рассмотрена возможность прогнозирования изменения указанных показателей шпиндельных узлов в тех же областях действия факторов при изменении условий их эксплуатации с учетом ряда ограничивающих положений.

Рассмотрены различные технические решения активного регулирования собственных характеристик шпиндельного узла для повышения его параметрической надежности. В качестве возможного варианта предложено оригинальное техническое решение с использованием

электрореологической жидкости, позволяющее оперативно регулировать эффективную массу, момент инерции, амплитуду радиальных биений шпиндельного узла, что позволяет изменять значения выходных параметров, повышая его качество и параметрическую надежность.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработанный на базе программного метода испытания станков метод оценки технического состояния шпиндельных узлов по выходным параметрам точности с использованием статистических испытаний, а также контрольных испытаний при заданном значении параметрической надежности узла, учитывают случайную природу действующих факторов.

2. Показателями качества шпиндельного узла являются характеристики распределений значений спектральных составляющих фазовой траектории характеристического вектора в пространстве выходных параметров, которые определяют положение этого вектора, нормального к плоскости торца переднего фланца шпинделя в точке ее пересечения с осью шпинделя. Состояние шпиндельного узла следует оценивать по вероятности нахождения значений этих спектральных составляющих в заданной области работоспособности.

3. На основе анализа типов распределений действующих факторов установлено их влияние на статистические характеристики функций распределений значений спектральных составляющих выходных параметров и показано, что равномерное распределение приводит к наибольшей дисперсии значений указанных спектральных составляющих.

Установлено, что существуют подобласти значений в пространстве действующих факторов, обеспечивающие большую параметрическую надежность шпиндельного узла, которые для исследованных узлов локализованы в подмножестве больших значений осевой составляющей силы резания и скорости вращения шпинделя и малых значений радиальной составляющей этой силы и плеча ее приложения.

4. Для исследуемых объектов определен запас надежности как отношение заданного значения характеристики параметра, которое он не должен превышать с заданной вероятностью к тому значению, которое фактически не превышает с этой вероятностью.

Так, установлено, что при $K_0 = 0,95$, для спектральной составляющей характеризующей радиальные биения шпинделей станков мод. 160DMT и 95TCl значение $K_{0,95}$ соответственно равно 1,12 и

1,05 для использованного нормального распределения значений факторов.

5. Созданный измерительно-информационный комплекс, включающий бесконтактную измерительную и нагрузочную системы, позволяет проводить испытания шпиндельных узлов токарных станков в производственных условиях согласно разработанной методике. Исследованы оригинальные измерительные преобразователи, составляющие основу измерительной системы. Достигнута высокая точность и помехоустойчивость преобразователей в цеховых условиях, и они рекомендуются к использованию в производстве и для научных исследований.

6. Проведенные согласно созданной методике исследования позволили получить оценку параметрической надежности шпиндельных узлов токарных станков моделей 1В6ПМТ и 95ТС1, которая составила соответственно 0,93 и 0,90 с точностью 0,05 и достоверностью 0,95 при обработке деталей соответственно по шестому и седьмому качествам. Результаты испытаний являются источником информации для диагностики шпиндельных узлов.

7. Разработанные пакеты прикладных программ на языке ФОРТРАН-IV для ЭВМ позволяют производить обработку эксплуатационных данных, расчет данных для статистических испытаний, обработку их результатов и оценку показателей качества по указанным выходным параметрам точности шпиндельных узлов токарных станков.

8. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов данной работы на заводе им.Личева составляет 6,8 тысяч рублей.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Базыленко В.А., Миронченко В.И., Пирогов Ю.А., Старков Г.С. Устройство для бесконтактного измерения размеров на основе приборов с зарядовой связью. - Научно-техническое сотрудничество "Предприятие-ВУЗ" (на примере автомобильной промышленности). Тез.докл. I-ой Всесоюзной научной конф. (Москва, 9-11 дек. 1980 г.). - М., 1980, ч. I, с. 79.

2. Миронченко В.И., Крашкин М.Т., Уваров А.В. Бесконтактная система контроля качества узлов металлорежущего оборудования. - Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов. Тез.докл. Всесоюз. научно-техн. конф. (Барнаул, 20-24 окт. 1982 г.). - Барнаул, 1982, ч. 1, с. 142.

3. Базыленко В.А., Миронченко В.И., Пирогов Ю.А. Оптико-электронный прибор для измерения размеров непрозрачных объектов. - Там же, с.157-158.

4. Проников А.С., Миронченко В.И. Оценка технического качества металлорежущего оборудования методом статистических испытаний. - Робототехника и автоматизация производственных процессов. Тез.докл. Всесоюз. научно-техн. конф. (Барнаул, 24-26 окт. 1983 г.). - Барнаул, 1983, ч.3, с.204.

5. Миронченко В.И., Крашкин М.Т., Уваров А.В. Измери-тельно-информационный комплекс для испытаний металлорежущего оборудования. - Там же, с.208.

6. Базыленко В.А., Миронченко В.И., Пирогов Ю.А. Оптико-электронный прибор для бесконтактного измерения размеров и смещений непрозрачных объектов. Приборы и техника эксперимента, 1983, № 5, с.245.

7. А.с. № 938004 (СССР). Способ бесконтактного определения размера детали /В.И.Миронченко. - Оpubл.в Б.И., 1982, № 23.

8. А.с. № 938019 (СССР). Оптикоэлектронное устройство для измерения линейных размеров /В.И.Миронченко. - Оpubл.в Б.И., 1982, № 23.

В.И. Миронченко



Л - 83095 от 29.04.84 г. Объем I п.л. Зак. 834. Тираж 100.

Типография МВТУ им. Н.Э. Баумана