

DM434072

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

На правах рукописи
УДК 621.9.529.620.178.53

БАНИН Владимир Агафонович

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ
С ЧПУ ПО ПАРАМЕТРУ ОТНОСИТЕЛЬНОГО
ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Специальность 05.03.01 - Процессы механической и физико-
химической обработки; станки и
инструменты

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

Москва - 1985

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

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

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Подураев В.Н.
кандидат технических наук,
доцент Пуш А.В.

Ведущее предприятие - Московский станкостроительный завод
"Красный пролетарий" имени А.И.Ефре-
мова

Защита диссертации состоится "3" февраля 1986 г.
на заседании специализированного Совета К.053.45.15 в Московском
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана по
адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

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

Ваш отзыв
печатью, просим

Телефон д

Авторефер

УЧЕНЫМ СЕ
СПЕЦИАЛИЗИРОВА
К.Т.Н.,

Л- 97392

Тир. 100 экз. I

М434072

ЯКОВ

И п л.

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

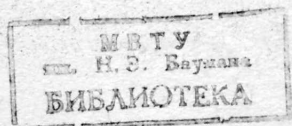
Актуальность работы. Дальнейший рост эффективности и качества машиностроительной продукции является основной задачей, поставленной XXVI съездом КПСС. Для выполнения этой задачи необходимо "...Разработать и осуществить мероприятия по повышению эффективности систем контроля качества и технического уровня... Ускорить внедрение автоматизированных методов контроля качества и испытания продукции, как составной части технологических процессов ..."

Основой машиностроения является станкостроительная промышленность, потому что от качества и надежности станков зависит работоспособность будущих машин. Особое место среди станочного парка занимает станки с ЧПУ, т.к. являются передовым технологическим оборудованием, позволяющим осуществлять автоматизацию производственных процессов в широких масштабах. Поэтому оценка технического состояния самих станков с ЧПУ является одной из актуальных задач станкостроения.

Современная тенденция развития станков с ЧПУ сопровождается постоянным увеличением частот вращения главного движения до 3000-4000 об/мин; подач рабочего и холостого хода до 0,5-3,0 и 10-15 м/мин, соответственно; снижением времени разгона и торможения рабочих органов до 0,02 с при одновременно высоких требованиях к точности и чистоте изготавливаемых деталей. Поэтому вопросы дальнейшего исследования вибраций в станках с ЧПУ приобретает особое значение.

Вибрации в станках ухудшают качество обрабатываемой поверхности, являются причиной ограничения производительности, уменьшают стойкость инструмента, способствуют снижению долговечности оборудования. Конструктивные особенности современных станков с ЧПУ и применяемые параметры технологических процессов показывают, что их эксплуатация осуществляется внутри области виброустойчивости: коэффициент запаса устойчивости 10-30 при обработке стали и 40-60 при обработке бронзы. В связи с этим возникает необходимость оценки технического состояния станков с ЧПУ, работающих внутри области виброустойчивости.

Целью работы является разработка методики оценки работоспособности токарного станка с ЧПУ, работающего внутри области виброустойчивости, по параметру относительного виброперемещения рабочих органов, как на стадиях исследовательских, приемо-сдаточ-



ных испытаний, так и при эксплуатации оборудования в тяжелых условиях.

Методы исследований. В работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследований. Для теоретических исследований применялись методы теории случайных процессов, статистической динамики, теории вероятностей и математической статистики, теории измерений, теории планирования эксперимента. Экспериментальные исследования выполнены с помощью автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса на станках мод. УТ1643 и ТБ61ПМ3 в лабораторных и производственных условиях.

Научная новизна. На основе составленной вероятностной модели относительной пространственной вибрации резца и заготовки при точении разработан метод, позволяющий оценить по выходным параметрам точности работоспособность токарных станков с ЧПУ, работающих внутри области виброустойчивости.

Практическая ценность. Использование разработанной методики позволяет проводить объективную и достоверную оценку технического состояния токарных станков с ЧПУ, работающих внутри области виброустойчивости. Разработаны: автоматическая система вибродиагностики работоспособности токарных станков с ЧПУ в условиях ГАП на базе микро-ЭВМ и программное обеспечение к ней; математические модели и номограммы для установления оптимальных значений конструктивно-технологических параметров станка в зависимости от уровня вибрации; методы и средства уменьшения времени сборки и испытания токарных станков с ЧПУ.

Реализация результатов. Методика оценки, измерительно-диагностический комплекс и практические рекомендации по повышению работоспособности токарных станков с ЧПУ внедрены на Ульяновском машиностроительном заводе им. Володарского. Считаемый годовой экономический эффект 27500 рублей.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-технической конференции "Прогрессивные методы обработки деталей и автоматизация проектирования технологических процессов" - г. Владимир, 1982 г.; на научно-технической конференции "Техническая диагностика станков и машин" - г. Хабаровск, 1982 г.; на научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1982, 1983, 1984 гг. Полностью работа доложена на заседании выше-названной кафедры 23 марта 1984 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано четыре печатных работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключительной части – общих выводов, списка литературы из 99 наименований, приложений; содержит 148 страниц машинописного текста, 74 рисунка, 24 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе рассмотрено состояние вопроса по методам испытаний металлорежущих станков и обоснована необходимость разработки частной методики оценки работоспособности токарных станков с ЧПУ, работающих внутри области виброустойчивости, по параметру относительного виброперемещения рабочих органов; показаны основные причины возникновения колебаний в станках; выбран объект исследования; сформулированы задачи работы.

Сообщается, что в настоящее время установлены два вида колебаний в станках при резании металлов: вынужденные и автоколебания (самовозбуждающиеся). Разновидностью этих колебаний являются 1. параметрические и релаксационные. Вынужденные колебания, возникающие из-за периодически действующей во время работы возмущающей силы, могут появиться при прерывистом характере процесса резания, при дисбалансе вращающихся частей технологической системы, при наличии дефектов в зубчатых передачах, при передаче станку колебаний от другого оборудования, при сбоях в подаче управляющих импульсов системы ЧПУ на исполнительные органы станков. К автоколебаниям относятся такие вибрации, у которых переменная сила, их поддерживающая, создается и управляется самими колебаниями. В отличие от вынужденных колебаний, причины образования которых в настоящее время считаются известными, строгой объективной теории возникновения автоколебаний при резании металлов в случае отсутствия внешних периодических возмущающих сил не получено, что указывает на сложный характер их образования.

Отмечается большой вклад советских ученых в области исследования вибраций при резании металлов: Каширина А.И., Соколовского А.П., Кудинова В.А., Подураева В.Н., Каминской В.В. и др. Рассмотрены различные теории возникновения автоколебаний, дан анализ работ зарубежных авторов по вопросам исследования коле-

оний в металлорежущих станках.

Сделано обобщение по работам, установлены следующие направления в исследовании вибраций, исходя из поставленных авторами целей: 1) определение источников колебаний непосредственно в конструкции станка; 2) влияние параметров технологического процесса на виброустойчивость станка; 3) влияние конструктивных элементов станка на его виброустойчивость; 4) влияние колебаний на точность обработки; 5) влияние колебаний на производительность металлообработки; 6) применение вибраций в специальных методах резания (виброточение, вибросверление и т.д.); 7) исследование виброакустических характеристик станков.

Показано, что оценка влияния колебаний на выходные параметры станка и технологической системы в целом осуществляется на основе испытаний: производственных, приемосдаточных, исследовательских и т.п. Выполнен анализ различных методов испытаний станков.

Установлено, что существующие методы испытаний станков с ЧПУ используют при оценке качества станка точностные параметры детали. Отмечается, что процесс формирования точности обработки осуществляется при взаимодействии всех элементов технологической системы: станка, системы ЧПУ, детали, приспособления, процесса резания. В связи с этим показано, что оценка технического состояния станка по точности обработанной детали не будет объективно отражать качество станка.

Рассматривается программный метод испытания металлорежущих станков по выходным параметрам точности, разработанный проф. Прохоровым А.С., в котором впервые в станковедении предложен дифференцированный подход в определении выходных параметров технологической системы и ее основного элемента - станка. На основе анализа процессов формообразования при обработке деталей на станках с ЧПУ различного технологического назначения в этом методе был сделан вывод, что основными выходными параметрами станка должны быть характеристики точности осуществления траекторий перемещения рабочих органов, несущих инструмент и заготовку. Качество станка зависит от того, с какой степенью точности им выполняются заложенные в технологическом процессе взаимные перемещения инструмента и заготовки при восприятии станком всего комплекса силовых, тепловых и вибрационных воздействий.

Отмечается, что основное внимание при испытаниях станков в

оценке вибраций уделяется вопросам виброустойчивости, т.е. определению тех предельных значений параметров технологического процесса ($t_{пред}$, $S_{пред}$), работа за пределами которых увеличивает вибрации до такого уровня, что их следы визуально обнаруживаются на поверхности обработанной детали. Для установления границ виброустойчивости разработаны методы как искусственного возбуждения колебаний динамической системы станка с помощью вибраторов, так и испытания резанием до получения "предельной стружки". Показаны недостатки этих методов, заключающиеся в существенном изменении динамической системы станка и искусственном разбиении ее при использовании математического аппарата теории автоматического регулирования.

На основе выполненного анализа конструктивных особенностей современных станков с ЧПУ (повышенная жесткость, использование замкнутых следящих систем ЧПУ, применение предварительного натяга в подвижных соединенных и винтовых парах, внедрение беззубчатых зубчатых передач и редукторов) и применяемых параметров технологических процессов (чистовая и получистовая обработка) показано, что коэффициент запаса устойчивости приближается к 60.

Отмечается, что обоснование потери станком работоспособности от действия вибраций появлением резонансных явлений, т.е. совпадением частот внешних колебаний с собственными частотами станка, не является объективным вследствие имеющихся в станке нелинейностей: деформации стыков от нагрузки, силы резания и трения от скорости, силы резания от толщины срезаемого слоя. Нелинейности способствуют появлению негармонических колебаний, частоты которых зависят от амплитуды, — при увеличении амплитуды изменяется частота, и система автоматически выходит из области резонанса.

Выявлено, что в математических моделях при точении рассматривается, как правило, колебания одного резца и только в горизонтальном направлении. Обоснована необходимость диагностирования технического состояния токарных станков с ЧПУ по вибрационным характеристикам в условиях ГАП. В качестве объекта исследования выбран токарный станок мод. УТ1643.

На основании проведенного анализа для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: 1) разработать метод оценки работоспособности токарных станков с ЧПУ, работающих внутри области виброустойчивости, по параметру относительного виброперемещения рабочих органов; 2) разработать вероятнос-

тную модель относительной пространственной вибрации резца и заготовки при точении и критерий ее оценки; 3) разработать методы и средства получения экспериментальных значений вероятностных характеристик предлагаемого критерия в условиях автоматизированного эксперимента; 4) выполнить практическую реализацию разработанного метода при испытании токарного станка с ЧПУ мод. УТ1643; 5) разработать математические модели предлагаемого критерия и диагностического параметра для определения областей работоспособности станков серии УТ и проверить адекватность данных моделей реальному процессу; 6) разработать практические рекомендации по повышению работоспособности токарных станков с ЧПУ серии УТ и созданию системы вибродиагностики к ним в условиях ГАП.

Вторая глава посвящена разработке теоретических положений оценки работоспособности токарного станка с ЧПУ, работающего внутри области виброустойчивости, по параметру относительного виброперемещения рабочих органов.

Базируясь на общих положениях программного метода испытания станков, предложенного проф. Прониковым А.С., по выбору характерных (фиксированных) точек, траектории которых могут характеризовать качество станка, разработаны требования на выходной параметр токарного станка с ЧПУ при дифференцированной оценке работоспособности от действия вибраций. Выходной параметр станка должен быть: 1) однозначной интегральной оценкой всех возмущающих воздействий, которые оказывают влияние на технологическую систему; 2) связан определенными соотношениями (возможно в вероятностной трактовке) с выходными параметрами технологической системы, т.е. с точностными показателями детали; 3) измеряемым, т.е. обладать возможностью определения экспериментальными методами при помощи измерительных приборов; 4) соразмерным с выходным параметром технологической системы, т.е. его размерность должна соответствовать размерности точностных показателей обработанной детали.

Установлено, что рассмотренные методы испытаний станков не позволяют воспользоваться имеющимися критериями в силу того, что они не отвечают в полной мере приведенным требованиям.

Разработана математическая модель вибрационного взаимодействия резца и заготовки при точении в виде относительной пространственной вибрации. В качестве характеристики вибрации взят параметр виброперемещение $S_t^k(t)$, выбор которого обосновывается

тем, что вибрация на низких частотах пропорциональна виброперемещению, на средних – виброскорости $\dot{S}_i^B(t)$, на высоких – виброускорению $\ddot{S}_i^B(t)$. Исследование низкочастотного диапазона принято на основе анализа работ советских и зарубежных авторов в области оценки колебаний в станках. Сообщается на основе обзора, что колебания более высоких частот (свыше 300–400 Гц) гасятся самой технологической системой и в зону резания практически не передаются.

Для интегральной оценки вибрационного состояния токарного станка с ЧПУ, исходя из пространственной картины вибрации (вынужденные колебания станка, автоколебания процесса резания, колебания от внешних источников и т.п.), введена векторная величина относительного виброперемещения рабочих органов станка $\vec{S}^B$ (рис.1).

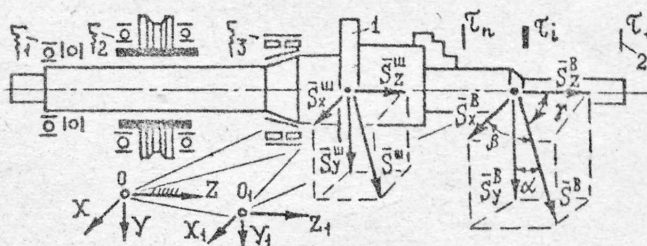


Рис.1. Ориентация вектора вибрации и диагностического параметра $\vec{S}^w$ токарного станка с ЧПУ

Векторная величина $\vec{S}^B$, обозначенная в работе как "вектор вибрации" (ВВ), характеризуется тремя показателями: точкой приложения, величиной (модулем) и направлением. Точка приложения ВВ, расположенная на геометрической оси шпинделя станка, имеет возможность перемещения вдоль оси Z от одного сечения 2 к другому. Разложением ВВ на координатные оси станка получены проекции (составляющие ВВ) $\vec{S}_x^B, \vec{S}_y^B, \vec{S}_z^B$. Для случая гармонического относительного колебания резца и заготовки приводятся мгновенные значения составляющих $\vec{S}_x^B(t), \vec{S}_y^B(t), \vec{S}_z^B(t)$ и ВВ в конкретном сечении заготовки в виде:

$$S_i^B = S_{i\max}^B \cdot \sin(\omega_i t + \psi_i), \quad (1)$$

$$S^B(t) = \{ [S_x^B(t)]^2 + [S_y^B(t)]^2 + [S_z^B(t)]^2 \}^{1/2}, \quad (2)$$

где $S_{i\max}^B$ – наибольшие (амплитудные) значения относительных виброперемещений по осям X, Y, Z; ω_i – угловые частоты; ψ_i –

сдвиг фаз между виброперемещениями по оси Z и осям X, Y.

Показано, что сложное взаимодействие узлов станка при точении (шпиндель и его опоры, суппорт и направляющие станины, резец и заготовка, колебания си-ч резания) представляет собой случайный процесс, зависящий от многих параметров технологической системы. На основе экспериментальных исследований установлен закон распределения ВВ; проверка по основным статистическим законам (Гаусса, Релея, Максвелла и экспоненциальному) показала, что $\Psi(S^B)$ наиболее ближе согласуется с теоретическим нормальным законом распределения. Получены вероятностные характеристики составляющих ВВ на основе дискретизированного представления непрерывного вибрационного процесса и использования величины относительного виброперемещения резца и заготовки при точении как показателя энергии колебаний

$$\begin{cases} M[S_x^B] = (\sum_{i=1}^{N_x^1} S_{ix}^{B1} + \sum_{i=1}^{N_x^2} |S_{ix}^{B2}|) / K_x & \sigma^2[S_x^B] = \sum_{i=1}^{K_x} (S_{ix}^B - M[S_x^B])^2 / K_x \\ M[S_y^B] = (\sum_{i=1}^{N_y^1} S_{iy}^{B1} + \sum_{i=1}^{N_y^2} |S_{iy}^{B2}|) / K_y & \sigma^2[S_y^B] = \sum_{i=1}^{K_y} (S_{iy}^B - M[S_y^B])^2 / K_y \\ M[S_z^B] = (\sum_{i=1}^{N_z^1} S_{iz}^{B1} + \sum_{i=1}^{N_z^2} |S_{iz}^{B2}|) / K_z & \sigma^2[S_z^B] = \sum_{i=1}^{K_z} (S_{iz}^B - M[S_z^B])^2 / K_z \end{cases} \quad (3)$$

где S_{ij}^{B1} , S_{ij}^{B2} — наибольшие и наименьшие амплитудные значения положительных и отрицательных ординат дискретизированного вибрационного процесса X, Y, Z — составляющих ВВ за интервал времени исследования τ ; $K_i = N_i^1 + N_i^2$ — количество положительных и отрицательных ординат составляющих ВВ за время τ .

С помощью теоретических разработок получены вероятностные характеристики ВВ:

$$M[S^B] = |S^B| = (M^2[S_x^B] + M^2[S_y^B] + M^2[S_z^B])^{1/2} + \sum_{i=1}^3 \left[\left(\sum_{i=1}^3 M^2[S_i^B] - M^2[S_i^B] \right) \times \sigma^2[S_i^B] \right] / 2 \left(\sum_{i=1}^3 M^2[S_i^B] \right)^{3/2}, \quad (4)$$

$$\sigma^2[S^B] = \sum_{i=1}^3 M^2[S_i^B] \cdot \sigma^2[S_i^B] / \sum_{i=1}^3 M^2[S_i^B] + \sum_{i=1}^3 \left\{ M[S_i^B] \cdot \left(\sum_{i=1}^3 M^2[S_i^B] - M^2[S_i^B] \right) \cdot M(S_i^B - M[S_i^B])^3 \right\} / \left(\sum_{i=1}^3 M^2[S_i^B] \right)^2.$$

Вероятное направление ВВ характеризуется углами α, β, γ , образованными ВВ и положительными направлениями координатных осей станка,

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \alpha = (M^2[S_x^B] + M^2[S_z^B])^{1/2} / M[S_y^B] \\ \operatorname{tg} \beta = (M^2[S_y^B] + M^2[S_z^B])^{1/2} / M[S_x^B] \\ \operatorname{tg} \gamma = (M^2[S_y^B] + M^2[S_x^B])^{1/2} / M[S_z^B] \end{cases} \quad (5)$$

Определенный таким образом ВВ будет являться характеристикой вибрационного состояния токарного станка с ЧПУ лишь в одном сечении. Для получения всей совокупности значений ВВ необходимо определить его в нескольких сечениях по длине обработки, т.е. образуется область состояний ВВ (рис. 2).

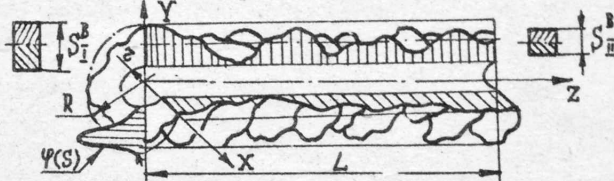


Рис. 2. Область состояний ВВ токарного станка с ЧПУ

Путем ограничения области состояний ВВ двумя цилиндрическими поверхностями (R – внешний, z – внутренний) с учетом нормального закона распределения $\psi(S^B)$ получена расчетная зависимость вероятностного показателя работоспособности станка в виде:

$$P(R \geq S^B \geq z) = \Phi[(R - M[S^B]) / \sigma[S^B]] - \Phi[(z - M[S^B]) / \sigma[S^B]], \quad (6)$$

где Φ – нормированная функция Лапласа.

Таким образом, под работоспособностью в диссертационной работе понимается такое техническое состояние токарного станка с ЧПУ, работающего внутри области виброустойчивости, при котором область состояний ВВ не выходит за границы, определенные технологическими требованиями для данного класса точности станков. Показано, что из двух станков, работающих внутри области виброустойчивости, работоспособным по параметру ВВ является только второй (рис. 2), т.к. область состояний ВВ_{II} находится внутри области работоспособности для станков данной серии. Область работоспособности определяется экспериментальными исследованиями при испытании опытного образца во всем диапазоне рабочих нагрузок.

Отмечается, что практическое использование непосредственно ВВ в производственных условиях при реализации вибродиагностической системы для модуля ГАП, состоящего из двух токарных станков

с ЧП, вызвало определенные трудности по защите и настройке датчиков при измерении составляющих ВВ. В связи с этим разработан дополнительный параметр $\bar{S}^w$, позволивший устранить эти осложнения.

Третья глава посвящена разработке методов и средств экспериментального определения составляющих ВВ и диагностического параметра $\bar{S}^w$ в условиях автоматизированного эксперимента.

На основе анализа существующих методов измерения колебаний обоснована необходимость применения ЭВМ для определения вероятностных характеристик ВВ и параметра $\bar{S}^w$. Показаны преимущества бесконтактных вихретоковых преобразователей для измерения вибрационных процессов в станках по сравнению с другими типами датчиков.

Решены принципиальные вопросы, связанные с преобразованием исходного непрерывного сигнала относительного виброперемещения резца и заготовки в дискретный числовой массив. Данные преобразования необходимы вследствие невозможности прямого ввода в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) современных ЭВМ непрерывной информации. Поскольку при переходе от одного числового значения S_i^t к другому при дискретизации составляющих ВВ (рис.3) происходит потеря информации (в интервале от t_1 до t_2 и т.д.), разработаны положения о замене непрерывных функций $f = S_i^t(t)$ числовым массивом с сохранением необходимой информации в дискретизированном сигнале.

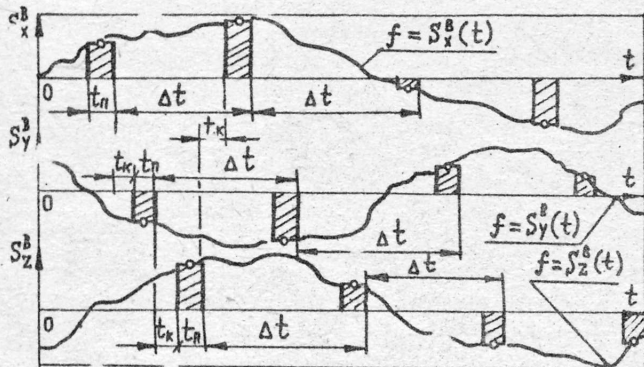


Рис.3. Дискретизация составляющих вектора вибрации

Используя теорему акад. Котельникова В.А. о "передаче любой функции, состоящей из частот от 0 до fB , по проводам при помощи

чисел, следующих друг за другом через интервал $t_{1/2 \cdot f^8}$, рассчитаны необходимые интервалы преобразования t_n , дискретизации Δt и коммутации t_k для автоматизированной экспериментальной установки.

С целью обеспечения необходимой точности и достоверности получения и обработки информации при измерении вибрационных процессов цифровыми методами обосновано применение низкочастотной фильтрации. Показано, что предимпульсная НЧ-фильтрация колебаний полностью устраняет эффект наложения различных частот при работе с дискретизированным сигналом. Выполнен анализ технических характеристик фильтров низких частот (ФНЧ), предложенных различными авторами. Установлено, что требованиям экспериментальной установки наиболее полно отвечают активные RC-фильтры Баттерворта. Осуществлен теоретический расчет основных параметров фильтра Баттерворта и изготовлены ФНЧ с $f_{cp} = 150$ и 300 Гц.

На базе управляющей микро-ЭВМ "Электроника ДЗ-28", обладающей большими вычислительными способностями, высокой надежностью, малыми габаритами и низкой стоимостью, разработан автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) (рис.4).

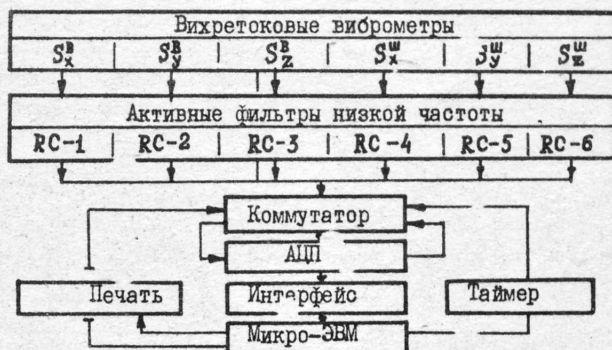


Рис.4. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для исследования колебаний в станках

Для последовательного заполнения ОЗУ микро-ЭВМ числовыми значениями $S_{x1}^B, S_{y1}^B, S_{z1}^B, S_{x1}^W, S_{y1}^W, S_{z1}^W, S_{x2}^B, \dots, S_{zn}^W$, получаемыми в ходе экспериментальных исследований, спроектировано и изготовлено специальное устройство ввода (интерфейс), позволившее осуществить обработку вибрационных процессов в реальном масштабе времени.

Технические характеристики созданного ИВК (время коммутации $t_k = 10-1500$ мкс, время преобразования АЦП $t_n \leq 1$ мс, интервал дискретизации $\Delta t = 2-50$ мкс, объем памяти ОЗУ 16(32) и ВЗУ 200 Кбайт) позволяют выполнять исследование колебаний до 1 кГц.

На основе полученных теоретических соотношений вероятностных характеристик составлено программное обеспечение для микроЭВМ на языке Ассемблер, реализующее зависимости (3-6).

Длительная эксплуатация разработанного ИВК показала его высокую надежность и достоверность получаемой информации.

В четвертой главе показано практическое применение разработанного метода оценки работоспособности токарного станка с ЧПУ мод. УТИ6ФЗ по вибрационным характеристикам.

Разработан метод получения математических моделей ВВ и параметра S^w , позволяющий определить области работоспособности токарных станков с ЧПУ по уровню вибрации во всем рабочем диапазоне параметров технологического процесса.

На примере испытания токарного станка с ЧПУ мод. УТИ6ФЗ, имеющего тиристорные привода главного движения и движения подачи, показано использование аппарата теории планирования эксперимента с целью получения достоверных математических моделей при оптимальном числе опытов. Выполнен этап предпланирования эксперимента, результаты которого дают возможность определять доминирующие факторы ВВ и интервалы варьирования ими для построения математических моделей токарных станков с ЧПУ.

Сконструированы и изготовлены оригинальные устройства, позволяющие измерять составляющие ВВ и вектора S^w при точении во всем диапазоне режимов резания.

Установлено, что функции $S_i^F = f(n)$, где n - частота вращения шпинделя для латунных n при гнотронной обработке имеют параболический вид. Причем для разных сечений заготовки эти функции остаются неизменными по виду, а отличаются по уровню вибрации в зависимости от формы колебаний. Параболический вид зависимостей $S_i^F = f(n)$ сохраняется и при смене позиции резцедержки, однако происходит изменение как формы колебаний, так и уровня вибрации.

На основе сравнительных испытаний двух токарных станков с ЧПУ одной модели определено влияние типа привода главного движения (ИБ6ПМФЗ - привод через АКС, УТИ6ФЗ - тиристорный привод) на вибрационные характеристики станков. Установлено, что

привод через АКВ увеличивает уровень вибрации на 15-20%.

Экспериментальным путем установлен линейный характер изменения функции $S_t^B = f(G)$, где G - дополнительная нагрузка на шпиндель, создаваемая весом детали или технологического приспособления: с увеличением нагрузки относительные виброперемещения резца и заготовки увеличиваются, причем, чем больше частота вращения шпинделя, тем круче эта прямая. Дополнительная нагрузка изменяет первоначальную форму колебаний (в ряде случаев на прямо противоположную), при этом параболический вид зависимостей $S_t^B = f(n)$ сохраняется.

Показано, что параметр $\bar{S}^w$, характеризующий вибрационное состояние станка на технологическом приспособлении, не является дублированием ВВ по следующим причинам: 1) измерение ВВ и параметра $\bar{S}^w$ выполняется в различных метрологических системах отсчета: $\bar{S}^w$ - в неподвижной XYZ, $\bar{S}^B$ - в подвижной $X_1 Y_1 Z_1$ (рис.1); 2) параметр $\bar{S}^w$ в отличие от ВВ определяется вне зоны резания; 3) шпиндель станка представляет собой вал, вращающийся на двух опорах, что вызывает различные формы колебаний его оси, в разных сечениях которой находятся точки приложения ВВ и параметра $\bar{S}^w$.

Установлено, что функции $S_t^w = f(n)$ также представляют собой параболические зависимости, расположенные значительно ниже по уровню по сравнению с соответствующими характеристиками ВВ.

Определены доминирующие факторы ВВ со стороны параметров технологического процесса, получены экспериментальные зависимости $S_t^B = f(t, S, V, \varphi)$. Установлено, что функции $S^B = f(t)$ и $S_t^B = f(\varphi)$ представляют собой линейные зависимости: с увеличением параметров t, φ уровень вибрации возрастает пропорционально. Зависимости составляющих ВВ от подачи $S_t^B = f(S)$ имеют параболический вид, причем, начиная с $S = 260$ мм/мин, заметного увеличения уровня вибрации не происходит. Скорость резания оказывает неодинаковое влияние на составляющие ВВ: с увеличением V до 220 м/мин S_x^B возрастает, а затем происходит постепенное уменьшение; для составляющих S_y^B и S_z^B характерно уменьшение уровня вибрации при увеличении скорости резания, начиная с $V = 220$ м/мин происходит заметное возрастание колебаний.

Разработана методика оценки влияния конструктивных параметров токарного станка с ЧПУ на ВВ и установлена на базе этого взаимосвязь вибрационных и тепловых процессов, протекающих

в станке. Показано определение оптимального значения натяга передней опоры шпинделя с учетом данной взаимосвязи; для станков серии УТ найдено $-10 \leq \delta_{\text{отт}} \leq -3$ мкм.

Получены математические модели ВВ (7) и параметра $\bar{S}^{\text{ш}}$ (8) для определения областей работоспособности станков серии УТ во всем рабочем диапазоне резания при патронном способе обработки.

$$\left\{ \begin{aligned} S_x^b &= -189,9 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 9,3 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 + 23,2 \cdot 10^{-4} \cdot V - 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot Z^3 + \\ &+ 15,9 \cdot 10^{-4} \cdot Z^2 - 44,3 \cdot 10^{-2} \cdot Z - 6,8 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 + 287,5 \cdot 10^{-2} \cdot t - \\ &- 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 + 4,1 \cdot 10^{-1} \cdot S + 5,0 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi \\ S_y^b &= 3272,1 \cdot 10^{-1} - 1,4 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 - 32,2 \cdot 10^{-2} \cdot V - \\ &- 2,6 \cdot 10^{-5} \cdot Z^3 + 17,2 \cdot 10^{-3} \cdot Z^2 - 38,4 \cdot 10^{-1} \cdot Z + 61,3 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 - \\ &- 18,1 \cdot 10^{-1} \cdot t - 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 + 13,9 \cdot 10^{-2} \cdot S + 1,2 \cdot 10^{-1} \cdot \varphi \\ S_z^b &= 929,2 - 3,0 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 24,4 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 - 65,8 \cdot 10^{-2} \cdot V - \\ &- 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot Z^3 + 5,5 \cdot 10^{-2} \cdot Z^2 - 117,1 \cdot 10^{-1} \cdot Z - 25,3 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 - \\ &- 27,8 \cdot 10^{-1} \cdot t - 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 + 13,5 \cdot 10^{-2} \cdot S + 52,5 \cdot 10^{-3} \cdot \varphi \end{aligned} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{aligned} S_x^{\text{ш}} &= 159,8 \cdot 10^{-1} + 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 1,0 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 + 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot V - \\ &- 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot Z^3 + 15,5 \cdot 10^{-4} \cdot Z^2 - 26,1 \cdot 10^{-2} \cdot Z - 15,5 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 + \\ &+ 90,3 \cdot 10^{-1} \cdot t + 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot S^2 - 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot S - 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi \\ S_y^{\text{ш}} &= 1135,3 \cdot 10^{-1} - 5,5 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 + 51,3 \cdot 10^{-3} \cdot V - 9,5 \cdot 10^{-6} \cdot Z^3 + \\ &+ 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot Z^2 - 14,7 \cdot 10^{-1} \cdot Z + 0,5 \cdot t^2 - 18,1 \cdot 10^{-1} \cdot t + \\ &+ 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot S^2 - 2,0 \cdot 10^{-2} \cdot S + 0,1 \cdot 10^{-1} \cdot \varphi \\ S_z^{\text{ш}} &= 345,3 \cdot 10^{-1} - 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 - 46,1 \cdot 10^{-2} \cdot V + \\ &+ 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot Z^3 - 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot Z^2 + 70,9 \cdot 10^{-2} \cdot Z - 18,1 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 + \\ &+ 114,3 \cdot 10^{-1} \cdot t + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 - 11,9 \cdot 10^{-2} \cdot S + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot \varphi \end{aligned} \right. \quad (8)$$

Установлена взаимосвязь между выходными параметрами технологической системы (отклонение от круглости детали) и выходными параметрами станка (вектор вибрации), позволяющая с учетом (7,8) находить области работоспособности токарных станков с ЧПУ для всего диапазона работы.

Показано, что между параметром $\bar{S}^{\text{ш}}$ и ВВ конкретного станка

имеется соответствие, которое позволяет расп. устранить разрабо-
танные положения о ВВ на вектор $\vec{S}^w$. Разработана си. тема вибро-
диагностики двух токарных станков с ЧПУ, составляющих модель ТАП,
по параметру $\vec{S}^w$ на базе микропроцессора "Электроника НЧ-3Г" и
программное обеспечение к ней.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В связи с повышением точности обработки, наличием конст-
руктивных особенностей и специфических условий эксплуатации важ-
ной становится проблема оценки технического состояния станков с
ЧПУ, работающих внутри области виброустойчивости.

2. Разработана частная методика оценки работоспособности
токарных станков с ЧПУ, работающих внутри области виброустойчи-
вости, по параметру относительного виброперемещения рабочих ор-
ганов.

3. На основе составленной вероятностной модели пространст-
венной вибрации резца и заготовки при т. чении разработан и обос-
нованно введен критерий оценки - вектор вибрации (ВВ), являющий-
ся интегральной характеристикой вибрационного состояния токарно-
го станка с ЧПУ.

4. Теоретическими разработками получены зависимости для
расчета вероятностных характеристик ВВ. Эксп. ментально уста-
новлен закон распределения ВВ: проверка по основным статистичес-
ким законам показала наибольшее соответствие теоретическому нор-
мальному закону распределения.

5. На базе микро-ЭВМ "Электроника ДЗ-28" создан измеритель-
но-вычислительный комплекс, позволяющий проводить вибрационные
исследования в условиях автоматизированного эксперимента. Разра-
ботаны методы и средства экспериментального определения ВВ при
точении. Составлены программы для микро-ЭВМ на языке Ассемблер,
с помощью которых реализуется практическая оценка технического
состояния станка.

6. Разработаны методические положения для нахождения доми-
нирующих факторов, оказывающих наибольшее влияние на ВВ. Опреде-
лены доминирующие факторы токарного станка с ЧПУ: I рода - тех-
нические характеристики станка, II рода - параметры технологи-
ческого процесса, III рода - конструктивные параметры станка.

7. Экспериментально установлена взаимосвязь между вибраци-
онными и тепловыми процессами, протекающими при работе станка.
Разработана последовательность нахождения оптимального значения

натяг, передней опоры шпинделя станка с учетом взаимодействия вибрационных и тепловых процессов; для станков серии УТ определено $-10 \leq \Delta \text{отг} \leq -3 \text{ мкм}$.

8. Разработан дополнительный параметр $\bar{S}^w$, характеризующий вибрационное состояние токарного станка с ЧПУ на технологическом приспособлении. Показано, что параметр $\bar{S}^w$ не является дублированием ВВ. На основе полученных математических моделей ВВ и вектора $\bar{S}^w$ токарного станка с ЧПУ мод. УТ16ФЗ доказано наличие соответствия между векторами $\bar{S}^k$ и $\bar{S}^w$.

9. Установлена взаимосвязь между выходным параметром технологической системы (отклонение от круглости детали) и выходным параметром станка (вектор вибрации). Практически показано определение областей работоспособности токарного станка с ЧПУ во всем диапазоне режимов резания на основе прогнозирования точности обработки и полученных математических моделей параметров $\bar{S}^k$ и $\bar{S}^w$.

10. Разработана система вибродиагностики двух токарных станков с ЧПУ, составляющих модуль ГАП, по параметру $\bar{S}^w$ на базе микропроцессора "Электроника ИС-31" и программного обеспечения к ней.

11. Ожидаемый экономический эффект от внедрения практических рекомендаций по повышению работоспособности и проведению объективной и достоверной оценки технического состояния токарных станков с ЧПУ составил 27500 рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Дмитриев Б.М., Ванин В.А. Исследование изменения вибрационных характеристик токарного станка с ЧПУ. - Прогрессивные методы обработки деталей и автоматизация проектирования технологических процессов: Тез. докл. научно-техн. конф., Владимир, 1982, с. 53-56.

2. Дмитриев Б.М., Ванин В.А. Метод оценки основных параметров вибрации в станках токарной группы. - Техническая диагностика станков и машин: Тез. докл. научно-техн. конф., Хабаровск, 1982, с. 37-40.

3. Ванин В.А. Определение параметров вибрации при испытаниях металлорежущих станков с применением ЭВМ. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1983, № 9, с. 122-127.

4. Ванин В.А. Оценка работоспособности токарного станка с ЧПУ повышенной точности по вибрационным характеристикам. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1983, № 12, с. 127-132. *Ванин*

