

М 3846 19

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

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

СУТОРМИН Валерий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОБАЛАНСИРУЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ

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

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

СУТОРМИН Валерий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОБАЛАНСИРУЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ

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



Работа выполнена на кафедре "Металлорежущие станки-автоматы и инструменты" Всесоюзного заочного машиностроительного института.

Научный руководитель — канд. техн. наук, доцент
Горбунов Б.И.

Официальные оппоненты — докт. техн. наук, профессор
Беляев В.Г.
— канд. техн. наук, доцент
Чернянский П.М.

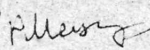
Ведущее предприятие — Московское специальное конструкторское бюро автоматических линий и специальных станков

Защита диссертации состоится "___" _____ 1981 г.
на заседании специализированного Совета по технологии машиностроения К-053.15.15 МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

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

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан "___" _____ 1981 г.

Ученый секретарь специализированного
Совета канд. техн. наук, доцент  МЕДВЕДЕВ Р.К.

Подписано к печати 01.12.81 г.

Зак. № 1567 Объем I п.л. Тип МВТУ Тир. 100 экз.

Актуальность проблемы. В решениях XXV и XXVI съездов КПСС задачи повышения эффективности общественного производства на базе ускорения научно-технического прогресса, улучшения качества продукции выдвинуты в числе основных.

Шлифование, обычно являющееся финишной обработкой, во многом предопределяет долговечность и надежность деталей и узлов машин.

Одним из факторов, препятствующих повышению качества и производительности шлифования, является дисбаланс шлифовального круга, возбуждающий вибрацию элементов технологической системы на частоте вращения шпинделя. Увеличение частоты вращения шпинделя вызывает резкий рост вибрации от шлифовального круга и погрешности обработки, что в значительной степени тормозит внедрение высокопроизводительного скоростного шлифования.

В процессе обработки значение и угол дисбаланса круга изменяются случайным образом, что приводит к необходимости непрерывно проводить корректировку масс, т.е. балансировать круг. Используемые сейчас для этого управляемые балансирующие устройства обычно не удовлетворяют промышленность по точности, надежности, производительности, безопасности и степени автоматизации процесса балансировки.

В связи с этим, разработка эффективных автобалансирующих устройств /АБУ/ шлифовальных станков является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка и исследование автобалансирующего устройства для повышения качества и производительности шлифования на бесцентровошлифовальных автоматах.

Методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования проводились на базе основных положений проектирования металлорежущих станков, теории машин и механизмов применительно к станкам, технологии машиностроения, технологической надежности станков, математической статистики. При разработке методики исследования учитывались нормативно-технические документы станкостроительной и подшипниковой промышленности.

В экспериментах использовалась современная отечественная и зарубежная аппаратура для контроля параметров колеба-

ний, шероховатости, некруглости и т.п.

Для расчетов и при обработке экспериментальных данных применялись ЭЦВМ БЭСМ-4М и ЕС-1033.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана методика исследования процесса балансировки, позволяющая исследовать на ЭЦВМ движение центра масс и корректирующих масс управляемого балансирующего устройства в различных условиях при автоматическом управлении процессом;
- впервые выявлена взаимосвязь погрешности отработки команд на каждом шаге с точностью и длительностью балансировки;
- установлены пути совершенствования схем узлов корректировки АБУ;
- установлены параметры емкости балансирующего устройства в зависимости от схемы перемещения корректирующих масс и их значения.

Практическая ценность:

- разработаны рекомендации, направленные на совершенствование конструкций балансирующих устройств и позволяющие повысить качество и производительность обработки путем использования автобалансирующего устройства;
- разработано автобалансирующее устройство, обеспечивающее высокую точность и производительность процесса балансировки;
- разработаны программы для ЭЦВМ, позволяющие наглядно оценивать различные варианты схем узлов корректировки.

Реализация результатов работы. Разработанное и испытанное в производственных условиях автобалансирующее устройство модели К123000 является базовым прототипом управляемых балансирующих устройств, разработанных Московским специальным конструкторским бюро автоматических линий и специальных станков для шлифовальных автоматов.

Апробация работы. Основные положения работы изложены и обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции "Современные методы и средства уравнивания машин и приборов", Ярославль, 1976; Первом Всесоюзном съезде по теории механизмов и машин, Алма-Ата, 1977; на секции "Уравнивание машин и приборов" НТЮ (Приборпром им. Вавилова С.И. МИИТ,

1977; 1980; на "Дне специалиста машиностроения" НТО Машпром, Владимир, 1978; на Всесоюзной конференции "Проблемные вопросы автоматизации производства", Рига, 1978; на Всесоюзной конференции "Современные методы и средства уравнивания машин и приборов", Волгоград, 1979; на Юбилейной У Всесоюзной конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов, управление качеством в машиностроении и приборостроении", МВТУ им. Баумана, 1979; а также в ряде докладов на научно-технических конференциях и семинарах во ВЗМІ, 1976-79 гг.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в восьми печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста, включающего введение, пять глав, общие выводы по работе. Содержит 129 рисунков, 7 таблиц, список литературы на 156 наименований и приложения.

В первой главе проводится аналитический обзор работ по проблеме, затрагиваемой в диссертации. Анализ работ, посвященных связи погрешности отклонений формы с долговечностью, вибрацией и шумом подшипников качения, проведенных ВНИИП, рядом институтов и организаций, занимающихся исследованиями подшипников качения, показал, что снижением шероховатости, волнистости, некруглости дорожек качения можно добиться увеличения долговечности в 2...5 раз, снижения шума и вибрации на 3...16 дБ. Для надежной работы подшипника необходимо достичь при обработке шероховатости II...12 класса, волнистости и огранки не более I мкм.

В работах В.Г. Гусева, Л.Ф. Котова, А.А. Порохни, А.И. Попова, С.И. Рубинчика, Ю.И. Смирнова, П.И. Ящерицына и других показано, что существует зависимость между дисбалансом шлифовального круга и погрешностями формы при шлифовании. Отмечается, что тщательная балансировка круга позволяет в среднем на I...2 класса улучшить шероховатость, почти в 3 раза снизить огранку, в 2 раза уменьшить волнистость и некруглость обрабатываемых поверхностей.

Прослеживается цепочка зависимостей: дисбаланс круга — образование погрешностей формы — эксплуатационные показатели подшипника качения.

По данным В.Г. Гусева, Б.Бакера, Ю.И.Смирнова, Ю.С.Степанова, А.Н.Чалого-Прилуцкого, В.Н.Жаркова и других исследователей, а также по нашим производственным наблюдениям, дисбаланс шлифовального круга изменяется случайным образом и тем быстрее, чем интенсивнее проходит процесс обработки. Для устранения дисбалансов непосредственно на станке при вращении круга разрабатываются управляемые балансирющие устройства (УБУ) и автоматические балансирующие устройства (АБУ). Разработкой и исследованием УБУ и АБУ в нашей стране занимаются ЭНИМС и его филиалы, ГНИИМАШ, МВТУ, ВЗМИ, МАИ, ряд станкостроительных заводов и КБ. За рубежом такие устройства разрабатывают станкостроительные фирмы ФРГ, США, Швейцарии.

В главе приведен краткий обзор и анализ известных в производстве и прошедших испытания УБУ и АБУ, показавший отсутствие единого методологического подхода к конструированию УБУ.

Для достижения сформулированной цели были поставлены основные задачи:

1. Разработать методику конструирования УБУ и на ее основе создать эффективное АБУ.
2. Создать математическую модель процесса балансировки и провести его исследование на ЭЦМ.
3. Исследовать теоретически и экспериментально характеристики АБУ и провести производственные испытания.
4. Исследовать эффективность применения АБУ для повышения качества обработки и производительности колец подшипников качения.

Во второй главе рассматриваются особенности конструирования УБУ.

Для охвата всей совокупности конструктивных решений разработана морфологическая матрица идей УБУ по основным признакам: а) привод, б) элементы управления, в) исполнительный орган (узел корректировки).

Из семи видов приводов УБУ: механического, гидравлического, электрического, магнитного, теплового, пневматического и гальванического некоторые преимущества имеет первый, благодаря своей простоте и надежности.

Известны элементы управления: механические, электрические, магнитные, гидравлические, пневматические. Т.к. часто в УБУ применяются два вида элементов управления, то возможное число их сочетаний определяется путем составления двухмерной матрицы элементов управления. Анализ позволяет исключить маловероятные и повторяющиеся сочетания, при этом остается 13 видов элементов управления УБУ.

Наиболее характерным морфологическим признаком исполнительных органов — узлов корректировки, является траектория, по которой перемещается корректирующая масса. По отношению к полю центробежных сил вращающегося ротора выделены четыре основных траектории: радиальная (вдоль линии действия центробежной силы), по дуге окружности (касательно к центробежной силе), по хорде и по кривой. После объединения в двухмерную матрицу и исключения повторяющихся и нерациональных сочетаний остается семь вариантов схем узлов корректировки, по признаку траекторий движения корректирующих масс. Объединив три частных матрицы в одну — трехмерную, получим матрицу идей УБУ, включающую в себя 637 вариантов балансирующих устройств. На основе качественного анализа, по каждому элементу трехмерной матрицы, можно выбрать рациональный вариант для любого конкретного станка.

При рассмотрении различных конструктивных схем узлов корректировки установлена зависимость между видом траектории, по которой перемещаются корректирующие массы, величиной и формой емкости УБУ. Так доказано, что при перемещении центра корректирующих масс по дуге окружности емкость устройства получается в 3,14 раза больше, чем при перемещении тех же масс вдоль радиальных траекторий. Для оценки кинематических схем узлов корректировки, по условию обеспечения возможности снижения дисбаланса на каждом шаге балансировки, установлено эмпирическое правило итерационного процесса: "Сумма произведений количества траекторий, по которым перемещаются кинематически не связанные корректирующие массы (или траекторий общего центра масс для кинематически связанных корректирующих масс) на количество направлений перемещения, вдоль этих траекторий, должна быть равна или больше четырех".

Разработано автобалансирующее устройство, состоящее из

механической части и электронной системы управления. Механическая часть включает узел корректировки, помещенный в планшайбе шлифовального круга и состоящий из двух колец с одинаковыми дисбалансами; механический привод, осуществляющий реверс и вращение корректирующих масс от шпинделя; управление электромагнитными и гидравлическими элементами; связь между приводом и корректирующими массами производит вал, проходящий через полый шпиндель. Система управления состоит из блока регистрации вибрационного состояния станка, порогового устройства, определяющего момент начала балансировки; амплитудного дискриминатора, управляющего процессом балансировки; схемой коммутации, выдающей сигналы на элементы управления; пороговое устройство, отключающее автоматику при снижении вибрации до заданного уровня.

На основе разработанного АБУ К123000 предложены балансирующие устройства, различие по габаритам и балансировочной емкости.

В третьей главе проведено исследование процесса балансировки двумя, кинематически не связанными, корректирующими массами с центрами масс, движущимися по окружности.

Создана графическая модель процесса балансировки по данной схеме, позволяющая проследить движение центра масс системы и корректирующих масс. Графические построения при балансировке различных по значению и углу дисбалансов позволили выявить ряд общих закономерностей процесса: траектория центра масс всегда имеет вид зигзагообразной кривой, состоящей из дуг окружности; угол остаточного дисбаланса всегда больше или меньше угла исходного дисбаланса на $1,57$ рад, в зависимости от того, в нечетной или четной четверти расположен исходный дисбаланс; для балансировки одинаковых по значению, но отличающихся углами дисбалансов требуется различное число шагов балансировки (последовательных поворотов корректирующих масс). Для уточнения причин последнего обстоятельства была проведена проверка расчетом на ЭВМ процессов балансировки дисбалансов в пределах всей балансировочной емкости устройства.

Установлены аналитические зависимости, отражающие шаговый характер процесса балансировки и позволяющие на каж-

дом этапе иметь информацию о значении и угле остаточного дисбаланса, углах корректирующих масс и числе шагов балансировки.

Остаточный дисбаланс D_I после первого шага балансировки равен:

$$D_1 = \left| \sqrt{(K_1 \sin \beta_{(1)} - D \sin \alpha)^2 + (K_1 \cos \beta_{(1)} - D \cos \alpha)^2} - K_1 \right| \quad (I)$$

где K_I - значение корректирующей массы, перемещаемой в процессе балансировки;

$\beta_{(1)}$ - угол вектора K_I относительно оси абсцисс;

D - начальное значение режимного дисбаланса;

α - угол дисбаланса D относительно оси абсцисс.

После второго шага балансировки остаточный дисбаланс равен:

$$D_2 = \left| \sqrt{(K_2 \sin \beta_{(2)} - D_1 \sin \alpha_1)^2 + (K_2 \cos \beta_{(2)} - D_1 \cos \alpha_1)^2} - K_2 \right| \quad (2)$$

где K_2 - значение корректирующей массы, ведущей корректировку на втором шаге;

$\beta_{(2)}$ - угол вектора K_2 относительно оси абсцисс;

α_1 - угол дисбаланса D_I после первого шага балансировки.

После i -го шага остаточный дисбаланс D_i равен:

$$D_i = \left| \sqrt{(K_m \sin \beta_{i-2} - D_{i-1} \sin \alpha_{i-1})^2 + (K_m \cos \beta_{i-2} - D_{i-1} \cos \alpha_{i-1})^2} - K_m \right| \quad (3)$$

где K_m - значение корректирующей массы, ведущей балансировку на i -ом шаге, $m = I; 2$.

Обозначив слагаемые в скобках буквами T и Φ , можно записать:

$$D_i = \left| \sqrt{T^2 + \Phi^2} - K_m \right| \quad (4)$$

Тогда углы векторов K_m и D_i от оси абсцисс после i -го шага балансировки можно найти, в зависимости от взаимного положения этих векторов, определяемых следующими условиями по формулам:

$$\text{Если } T > 0 \text{ и } \sqrt{T^2 + \Phi^2} < K_m, \text{ то } \alpha_i = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\Phi}{\sqrt{T^2 + \Phi^2}} \quad (5)$$

$$\beta_i = \alpha_i$$

$$\text{Если } T < 0 \text{ и } \sqrt{T^2 + \Phi^2} > K_m, \text{ то } \alpha_i = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{\Phi}{\sqrt{T^2 + \Phi^2}} \quad (6)$$

$$\beta_i = \alpha_i + \pi$$

Если $T < 0$ и $\sqrt{T^2 + \Phi^2} < K_m$, то $\alpha_i = \beta_i = \frac{3\pi}{2} + \arcsin \frac{\Phi}{\sqrt{T^2 + \Phi^2}}$ (7)

Если $T > 0$ и $\sqrt{T^2 + \Phi^2} > K_m$, то $\alpha_i = \frac{3\pi}{2} - \arcsin \frac{\Phi}{\sqrt{T^2 + \Phi^2}}$ (8)

$$\beta_i = \alpha_i + \pi$$

Расчет на ЭВМ процесса балансировки всего множества режимных дисбалансов в пределах балансировочной емкости устройства позволил установить, что число шагов балансировки меняется от единицы до тысячи, причем наибольшее число шагов приходится на корректировку наименьших по значению дисбалансов. Снижение требуемой точности балансировки не оказывает существенно-го влияния на уменьшение числа шагов.

Дальнейшие исследования, проведенные на ЭВМ с целью поиска путей уменьшения числа шагов при балансировке дисбалансов малых значений, показали необходимость введения третьей корректирующей массы. При этом установлено, что третья масса может быть неподвижной, т.е. пассивной и крепиться снаружи узла корректировки. В этом случае, для наименьших по значению дисбалансов выполняется меньшее количество шагов. Здесь уменьшение числа шагов при разной точности балансировки составляет от 10 до 250 раз. Поиск рациональной величины пассивной массы показал, что ее значение надо выбирать в интервале 30...50% емкости устройства, чтобы получить многократное снижение шагов балансировки и приемлемую несимметричность поля емкости относительно оси вращения.

Наличие пассивной массы позволило исследовать процесс балансировки при неодинаковых по значению подвижных корректирующих массах. Рассчитывалось шесть вариантов соотношений первой и второй корректирующих масс от 0,33 до 3,0. Установлено, что при отношении 0,43 и 1,66 среднее значение числа шагов снижается до 9,5 в пределах всей емкости устройства, но при этом происходит уменьшение почти на 10% емкости устройства, вызванное различием величины корректирующих масс. Это ограничивает использование данного способа для снижения числа шагов балансировки, учитывая, что уменьшение емкости происходит за счет исключения внутренней части области, а не простого уменьшения внешних границ емкости.

Переход от идеального процесса балансировки, который был

положен в основу предыдущих расчетов, к реальному, основан на опытных данных, показывающих, что корректирующая масса при повороте не может остановиться точно при минимуме вибрации, а в силу инерционности и погрешностей перемещается несколько дальше заданной точки, т.е. получает дополнительный поворот.

Установлено, что связь между приращением вибрации или дисбаланса — Δ и дополнительным углом поворота корректирующей массы — α_{Δ} зависит от взаимного положения корректирующей массы и дисбаланса и может быть выражена двумя формулами (9) и (10):

$$\text{Если } \sqrt{(K_i \sin \beta_i - D_i \sin \alpha_i)^2 + (K_i \cos \beta_i - D_i \cos \alpha_i)^2} < K_i$$

$$\text{тогда } \alpha_{\Delta} = \arccos \left(1 + \frac{\Delta(2D_i + \Delta)}{2K_i(D_i - K_i)} \right) \quad (9)$$

где D_i — наименьший остаточный дисбаланс на данном шаге балансировки;

K_i — значение корректирующей массы, осуществляющей балансировку.

$$\text{Если } \sqrt{(K_i \sin \beta_i - D_i \sin \alpha_i)^2 + (K_i \cos \beta_i - D_i \cos \alpha_i)^2} > K_i$$

$$\text{тогда } \alpha_{\Delta} = \arccos \left(1 - \frac{\Delta(2D_i + \Delta)}{2K_i(D_i + K_i)} \right) \quad (10)$$

Из формулы (9) следует, что при Δ , равным десятым долям микрометра, угол α_{Δ} может достигать десятков градусов, а это отражается на ходе балансировки. Расчетами на ЭВМ установлено, что для корректировки без пассивной массы рациональное значение Δ находится в пределах 0,5...1,5% балансирующей емкости устройства. Наибольшее снижение числа шагов балансировки достигается при балансировке дисбалансов малых значений, примерно в 10...15 раз. При этом в площади емкости, на радиусе, равном значению половины емкости, образуются зоны, балансировка из которых до заданной точности невозможна, т.е. происходит условное уменьшение емкости устройства.

Для схемы балансировки с пассивной массой область рациональных значений Δ меньше и лежит в диапазоне 0,1...0,5% емкости устройства. В этом случае удалось снизить число шагов балансировки, в среднем до 7 шагов по всей емкости устройства.

Это наименьшее среднее значение, которого можно достичь при выбранной схеме балансировки, для получения остаточного дисбаланса не более 0,5% емкости. Приведенные исследования позволили сформировать ряд рациональных параметров узла корректировки. Так, подвижные корректирующие массы должны быть близки друг другу по значению, пассивная масса должна составлять 30...40% емкости устройства, а балансировка вестись при приращениях дисбаланса на каждом шаге 0,1...0,5% емкости устройства, т.е. приращение должно быть меньше, чем допустимый остаточный дисбаланс.

Четвертая глава посвящена исследованию управляемого балансирующего устройства в условиях завода-изготовителя и в производственных условиях. Исследовались основные характеристики устройства, в частности, длительность и точность балансировки, влияние устройства на вибрационное состояние станка, надежность и долговечность в производственных условиях. Проведенные на первом этапе испытания на прочность всех элементов в аварийных условиях заклинивания корректирующих масс показали, что балансирующее устройство полностью сохраняет работоспособность и целостность всех элементов даже в случае длительных перегрузок за счет проскальзывания пластин в электромагнитных муфтах, служащих ограничителем момента.

Вибрационное состояние станка оценивалось с использованием трех преобразователей КДЗ-2 (ГДР), два из которых были установлены горизонтально на корпусе шлифовальной бабки станка модели 3474ВІ возле концов шпинделя в плоскости обработки, а один устанавливался на крышке шлифовальной бабки и воспринимал колебания в вертикальной плоскости. Оценка точности балансировки велась по показаниям от преобразователя, установленного возле передней опоры шпинделя и ориентированного по направлению врезания при обработке. Сигнал с преобразователей поступал на октавный фильтр ОФ-20І, а затем на трехканальный виброизмеритель СМ-23І (ГДР) и регистрировался шлейфовым осциллографом КИ15.

Исследования устройства в лабораторных условиях завода-изготовителя показали, что балансирующее устройство модели КИ23000 работоспособно и его характеристики соответствуют расчетным данным: средний уровень остаточного вибросмещения

шлифовальной бабки после балансировки, при ручном управлении составляет 0,1 мкм; средняя длительность балансировки - 38,5с. Исследования АБУ К123000 в производственных условиях ИПЗ в течение 30 месяцев показали: новые шлифовальные круги уравниваются устройством без предварительной балансировки; при дистанционном управлении длительность балансировки в процессе шлифования 20...90 с; остаточные виброперемещения не превышают 0,2...0,3 мкм над уровнем вибрационного фона станка; наиболее целесообразно совмещать процессы правки круга и балансировки; надежность и ресурс работы УБУ К123000 в производственных условиях подтверждает правильность компоновочной схемы устройства и обоснованность конструктивных решений. Устройство К123000 проработало без отказов более 30 месяцев при двухсменной эксплуатации в условиях АРПК ИПЗ.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию влияния дисбаланса на геометрические параметры поверхности шлифовальных колец подшипников. На первом этапе было исследовано вибрационное состояние станков моделей 3474 и 3475 в АРПК ИПЗ. Установлено, что под действием дисбаланса вибрация станков находится в диапазоне 0,9...11 мкм.

На втором этапе исследовалась количественная связь между уровнем вибрации под действием дисбаланса станка и качеством поверхности дорожки качения кольца 7215К1.02. Материал заготовки - сталь ШХ-15, твердость НРС 61...65. Шлифовальный круг Ш500х19х35 марки 2416СМ17К5. Частота вращения круга - 31,83 Гц, детали - 2,8 Гц. Черновая подача - 0,025 мм/с, чистовая - 0,0083 мм/с. Время обработки - 27,7 с, цикла - 31,7 с. Правка круга через 3...5 деталей алмазным карандашом. Охлаждение - 4% водный раствор НГЛ-205. Обработка велась при трех значениях вибрации шлифовальной бабки 0,5; 2,5 и 5,0 мкм, устанавливаемых балансирующим устройством. Качество поверхности контролировалось в лабораториях АРПК на приборах М-809М, ПП-1, кругломере "Талиронд" модели 51, профилометре "Бриль и Кьер" модели 6102. Прижоги контролировались химической лабораторией АРПК. Установлено, что снижение вибрации до 0,5 мкм позволяет увеличить черновую подачу в 3...5 раз без появления прижога и сократить за счет этого цикл обработки на 20...

...35%. Установлено, что при снижении вибрации от 5 до 0,5 мкм улучшение шероховатости составляет 20...30% в зависимости от режима обработки. Уменьшение огранки наиболее интенсивно происходит при снижении вибрации от 2,5 до 0,5 мкм и составляет 40...70%. Балансировка, снижающая вибрацию с 5,0 до 0,5 мкм позволяет уменьшить волнистость при различных режимах обработки 30...50%.

Некруглость также растет с увеличением дисбаланса. При балансировке от 5,0 до 0,5 мкм некруглость уменьшается, для различной интенсивности обработки, на 30...60%.

Гармонический анализ круглограмм профиля шлифовальных поверхностей показал, что с увеличением дисбаланса наибольшее приращение погрешности дает гармоника на частоте действия дисбаланса. Эта гармоника увеличивается в три раза при увеличении дисбаланса в десять раз, а остальные гармоники профиля увеличиваются при этом в 1,5...2 раза.

Исследование колец после выхаживания, обработанных на операции чистового шлифования с различным уровнем дисбаланса, показало, что выхаживание не устраняет полностью погрешностей формы от дисбаланса, полученных на предыдущей операции. Некруглость, огранка, волнистость на дорожках качения, шлифованных на чистовой операции с дисбалансом, оказалась вдвое выше после выхаживания, чем на деталях, обработанных на чистовой операции с минимальным остаточным дисбалансом.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Создано эффективное АБУ с автоматической системой, защищенной авторским свидетельством, позволяющее поддерживать амплитуду вибрации шлифовальной бабки на уровне около 0,1 мкм, с достижением этого уровня в течение 40 с за каждый цикл. Конструирование АБУ велось по разработанному методу поиска рациональных вариантов из трехмерной морфологической матрицы идей и на основе научно-технической документации станкостроительной и подшипниковой отрасли машиностроения.

2. Впервые разработан метод графической интерпретации статической балансировки, позволяющий исследовать и анализировать ход процесса при различных начальных условиях и создавать

математические модели процесса, удобные для расчетов на ЭЦМ.

3. Исследование новым методом АБУ, с двумя кольцевыми корректирующими массами, позволило установить рациональную стратегию балансировки (например, вести процесс с превышением остаточного дисбаланса на каждом шаге $0,001 \dots 0,015$ емкости), дать рекомендации по повышению производительности АБУ (правильный выбор угла между корректирующими массами в начальный момент балансировки и др.), рекомендовать выбор рациональных параметров АБУ (корректирующие массы следует выбирать равными друг другу, следует вводить пассивную массу величиной $0,3 \dots 0,5$ емкости и т.д.).

4. Установлено, что в массовом производстве подшипников, за счет снижения дисбаланса круга и вибрации станка устройством KI23000, удается повысить производительность на $20 \dots 35\%$, уменьшить некруглость до $1,0$ мкм, волнистость до $0,8$ мкм, огранку до $0,65$ мкм, шероховатость до $0,57$ мкм, а это в итоге способствует повышению надежности и долговечности подшипников.

5. Получен экономический эффект от применения автобалансирующего устройства KI23000 в массовом производстве подшипников 78,576 тыс.рублей, подтвержденный официальным актом.

Устройство KI23000 отмечено медалями ВДНХ СССР.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Повышение производительности автоматических управляемых балансирующих устройств. Научн.тр.ВЗМИ, т.30, М., 1975, 98...104 с., (в соавторстве с Б.И.Горбуновым).

2. Автоматическая балансировка шлифовальных кругов. "Механизация и автоматизация производства", № 5, 1978, 13...15 с. (в соавторстве с Б.И.Горбуновым).

3. Оценка вибрации шлифовальных станков. В сб. "Процессы и оборудование абразивно-алмазной обработки", вып.2, М., ВЗМИ, 1978, 42...45 с.

4. Автоматическая балансировка шлифовальных кругов на ходу. В сб. "Проблемные вопросы автоматизации производства", М., НИИМАШ, 1978, 55 с., (в соавторстве с Б.И.Горбуновым и

А.Л.Шейниным).

5. Исследование процесса балансировки корректирующими массами, движущимися по окружности. Тезисы Всес. науч.-техн. конф. "Современные методы и средства уравнивания машин и приборов", Волгоград, 1979, 26...27 с. (в соавторстве с Б.И.Горбуновым и Н.Н.Бормотиним).

6. Автоматические балансирующие устройства шлифовальных станков-автоматов. Тезисы 5-ой Всес.мехвуз.конф., посвящ. 150-летию МВТУ им.Баумана "Научные основы автоматизации производственных процессов и управления качеством в машиностроении и приборостроении", М., 1979, 51...53 с. (в соавторстве с Б.И.Горбуновым и В.П.Щербаковым).

7. Автоматические балансирующие устройства для специальных случаев шлифования. "Вестник машиностроения", № 2, 1980, 57...58 с. (в соавторстве с Б.И.Горбуновым).

8. Устройство для автоматической балансировки шлифовальных кругов. А.с. № 729458. Опубликовано 15.04.80, Бюллетень № 15 (в соавторстве с Б.И.Горбуновым и А.Л.Шейниным).

