

ОД

На правах рукописи

КЛАДИЕВ Сергей Николаевич

АВТОБАЛАНСИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА РУЧНЫХ  
ШЛИФОВАЛЬНЫХ МАШИН

Специальность: 01. 02. 06 - Динамика, прочность  
машин, приборов и аппаратуры

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск - 1996

На правах рукописи

КЛАДИЕВ Сергей Николаевич

**АВТОБАЛАНСИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА РУЧНЫХ  
ШЛИФОВАЛЬНЫХ МАШИН**

Специальность: 01. 02. 06 - Динамика, прочность  
машин, приборов и аппаратуры

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск - 1996

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
Нестеренко В.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Мигиренко Г.С.

- кандидат технических наук, доцент  
Свендровский А.Р.

Ведущее предприятие - НПО "Полос" (г. Томск)

Защита состоится "26" июня 1996 г. в "15" часов на  
заседании диссертационного Совета К 063.80.04 в Томском политехни-  
ческом университете ( 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30 )

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиоте-  
ке университета по адресу: ул. Белинского 53-а

Автореферат разослан "24" мая 1996 г.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета  
д.т.н., профессор



Саруев Л.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решение проблемы механизации и автоматизации труда и повышение его производительности требует применения более современных систем инструмента, машин и оборудования. Одним из путей повышающих техническую оснащенность современного производства является широкое применение ручного механизированного инструмента. Ручные машины находят все более полное применение во многих отраслях народного хозяйства, например в автомобилестроении. Для удержания ручной машины, ее пространственной ориентации и перемещения, осуществления силового воздействия на инструмент и других функций управления, оператор находится в непрерывном тесном контакте с нею.

Взаимодействие исполнительных органов ручных машин с объектами обработки носит резко выраженный динамический характер. Удельная мощность ручных машин значительно больше, чем стационарных машин аналогичного назначения. Как одна из наиболее передовых в техническом отношении отраслей промышленности, автомобилестроение использует ручной инструмент с высокой рабочей скоростью шпинделя, что необходимо для повышения производительности труда при строго ограниченной массе машин. Машины с повышенной частотой вращения ротора могут работать надежно только при условии хорошей их сбалансированности. Вместе с тем, идет процесс повышения требований к гигиеническим нормам вибрации, воспринимаемой руками операторов. Отсюда проблема балансировки приобретает исключительно важное значение. От качества решения этой задачи зависит не только общий уровень вибраций и точность работы инструмента, но также его ресурс, надежность, безопасность работы с точки зрения травматизма и профессиональных заболеваний. Балансировочная техника при умелом ее использовании может способствовать экономии материальных и людских ресурсов.

Цель работы. Исследовать динамику шарового автобалансирующего устройства ( АБУ ) ручных шлифовальных машин под нагрузкой, а именно: оценить влияние силового и кинематического возбуждения колебаний на работу автобалансира; определить влияние физических параметров системы ротор - шары на работу устройства и точность балансировки; создать методику расчета и разработки конструкций АБУ для конкретных моделей шлифовальных машин.

Методы исследования. Экспериментальные исследования вибрационного состояния ручных шлифовальных машин проводились на специальном стенде с поворотным столом, развязанном от основания. Производственные испытания проводились в цеховых условиях на действующем производстве. В качестве измерительной аппаратуры использовалось оборудование фирмы "Брюль и Кьер", виброметр-измеритель шума ВШВ-003. Теоретические исследования включали математическое моделирование и программирование с использованием ПЭВМ.

Научная новизна. Разработана математическая модель ручной шлифовальной машины с АБУ при наличии силового и кинематического возбуждения колебаний.

Впервые проведены исследования аналитических решений уравнений движения ручной шлифовальной машины с автобалансирующим устройством при работе под нагрузкой с изменением параметров системы.

Решена задача о движении оси ротора, уравновешенного на холостом ходу и во время рабочего процесса шлифования.

Установлено влияние АБУ на износ шлифовального круга.

Впервые теоретически обосновано, что направление кинематически возбуждаемых колебаний относительно оси вращения шпинделя ручной шлифовальной машины, определяет изменение эффективности балансировки.

Определены возможности использования и области эффективного применения АБУ ручных шлифовальных машин.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Разработана методика расчета параметров АБУ для разных типов ручных шлифовальных машин с обеспечением требуемой точности балансировки. Данная методика использована при разработке конструкций шаровых АБУ для четырех типов серийно выпускаемых ручных шлифовальных машин. Разработанные автобалансирующие устройства при небольших габаритах и массе эффективно снижают вибрацию на рукоятях и корпусе машин. Высокая надежность работы и точность балансировки АБУ шлифовальных машин подтверждена многочисленными экспериментами и испытаниями в лабораторных и производственных условиях. Установлено, что наличие АБУ ведет к исправлению формы наружной поверхности шлифовального диска при чем увеличивается срок его службы. Разработан комплекс мероприятий по повышению устойчивости процесса балансировки, снижению времени разгона балансировочных шаров. Результаты работы внедрены на ПО АвтоВАЗ.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на пятой региональной научно - практической конференции "Молодые ученые - ускорению НТП" (г. Томск, 1986 г.); региональной научно-технической конференции "Автоматизация и механизация в машиностроении" (г. Кемерово, 1988 г.); Второй Всесоюзной научно-технической конференции "Вибрация и вибродиагностика. Проблемы стандартизации" (г. Горький, 1988 г.); Всесоюзной научно-технической конференции "Современные методы и средства уравновешивания машин и приборов" (г. Воронеж, 1989 г.); Второй Всесоюзной конференции "Проблемы виброизоляции машин и приборов" (г. Иркутск, 1989 г.); Всесоюзном научно-техническом совещании "Основные направления повышения технического уровня и качества ручных машин" (г. Даугавпилс, 1989 г.); Всесоюзном научно-техническом семинаре по вопросам борьбы с шумом и вредной вибрацией (г. Свердловск, 1989 г.); девятом отраслевом совещании "Проблемы и перспективы развития Томского нефтехимического комбината" (г. Томск, 1995 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 работы, в том числе получено 6 авторских свидетельств на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Основной текст включает 170 страниц: в том числе 2 таблицы; 110 рисунков на 64 страницах; список литературы из 112 наименований. Приложение содержит 58 страниц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе проведен обзор современных методов балансировки машин и приборов. Как технологическая операция, балансировка делится на однократную, периодическую и непрерывную, т.е. автоматическую. Проанализированы средства и методы однократной и периодической балансировки. Определены перспективы развития различных типов балансировочных станков. Выбор метода балансировки зависит от значений допустимых эксплуатационных и технологических дисбалансов, конструкции ротора и опор. Движущей силой дальнейшего развития средств и методов однократной балансировки является требование непрерывного повышения производительности и точности.

Указанные методы не позволяют осуществлять балансировку ротора на ходу во время его эксплуатации. В центрифугах, стиральных машинах, сепараторах, шлифовальных станках и ручных шлифовальных машинах режимное изменение дисбаланса является следствием выполняемого ими технологического процесса. Для устранения режимного изменения дисбаланса роторов широко используют автоматические балансирующие устройства. В результате анализа методов и средств автоматической балансировки приведены классификации пассивных и активных балансировочных устройств, критерии выбора этих устройств, а также режимы их работы.

Вопросы балансировки роторов активными АБУ с направленным перемещением корректирующих масс были рассмотрены и исследованы в работах Горбунова Б.И., Гусева В.Г., Сутормина В.И., Гусарова А.А., Шаталова Л.Н., Сусанина В.И. Устройство автоматической балансировки со случайным поиском положений корректирующих грузов было разработано и исследовано Растригиным Л.А. Принцип работы и конструкция все-режимных устройств балансировки принудительным центрированием описаны Куинджи А.А., Колосовым Ю.А., Народицкой Ю.И.

Имеется значительное количество работ, посвященных исследованию механических пассивных АБУ. Вопросы точности балансировки кольцевыми АБУ рассмотрены Тюманком А.Н. Анализ работы маятниковых АБУ посвящены труды Закржевского М.В., Блехмана И.И. Расчет емкости шарового АБУ предложен Кравченко В.И., Нестеренко В.П., Гусаровым

А.А. и Шаталовым Л.Н. В работах Агафонова Ю.В., Гольдштейна Б.Г., Закржевского М.В. и др. исследуется устойчивость шарового АБУ.

Режимы работы шарового АБУ для ротора с анизотропными опорами, составного ротора, в случае динамической балансировки ротора в двух плоскостях коррекции, при учете сил вязкого сопротивления рассмотрены Нестеренко В.П. Им же совместно с Соколовым А.П. показан способ повышения эффективности жидкостного АБУ типа Леблана.

В данной главе подробно рассмотрены конструкции активных и пассивных АБУ и определены направления, в которых они развиваются.

Во второй главе составлены уравнения движения механических систем с автобалансирующими устройствами: уравнения движения консольного ротора с дополнительным телом (рис. 1); уравнения движения консольного ротора без дополнительного тела с изотропными опорами; уравнения плоского движения ротора; уравнения движения ручной шлифовальной машины прямого типа с учетом поперечных колебаний шаров АБУ. Все эти системы уравнений рассматривают случай свободного движения ротора на холостом ходу без взаимодействия с поверхностью обработки.

Рассмотрена автоматическая балансировка шарами абразивного круга ручной шлифовальной машины. Во время рабочего процесса, при шлифовании поверхности, вибрация ручной шлифовальной машины создается не только дисбалансом круга, но еще и биением наружной поверхности круга относительно обрабатываемой поверхности. Для того, чтобы найти требуемую емкость АБУ, определить эффективность балансировки ротора и влияние АБУ на износ шлифовального круга необходимо исследовать динамику ручной шлифовальной машины в условиях рабочего процесса.

Рассматривается режим обработки неподвижной поверхности шлифовальным кругом, имеющим дисбаланс  $e$  и эксцентриситет  $\varepsilon$  наружной поверхности (рис.2-3). Движение рассматриваемой механической системы описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$\ddot{\xi} + \omega_{\xi}^2 \xi = \frac{m_0}{M} e \Omega^2 \cos \Omega t + \frac{mR}{M} \sum_{k=1}^2 (\ddot{\gamma}_k \sin \gamma_k + \dot{\gamma}_k^2 \cos \gamma_k) + \frac{T}{M}, \quad (1)$$

$$\ddot{\eta} + \omega_{\eta}^2 \eta = \frac{m_0}{M} e \Omega^2 \sin \Omega t + \frac{mR}{M} \sum_{k=1}^2 (-\ddot{\gamma}_k \cos \gamma_k + \dot{\gamma}_k^2 \sin \gamma_k) + \frac{N}{M} - \frac{P}{M} - \frac{c_{\eta}}{M} l_0,$$

$$\ddot{\gamma}_k + h_0 (\dot{\gamma}_k - \dot{\phi}) = \frac{5}{7R} (\ddot{\xi} \sin \gamma_k - \ddot{\eta} \cos \gamma_k),$$

где  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $\omega_{\xi}^2 = \frac{c_{\xi}}{M}$ ;  $\omega_{\eta}^2 = \frac{c_{\eta}}{M}$ ;

$P = P_m + P_p$  - сила тяжести;

$m$ ;  $m_0$ ;  $M$ ; - массы шара, ротора, системы;

$\xi$ ,  $\eta$  - координаты оси шпинделя;

$R$  - расстояние между центрами шара и беговой дорожки;

$T, N$  - касательная и нормальная составляющие реакции;  
 $\gamma_k$  - угол, определяющий положение шара;  
 $l_0$  - статическое смещение;  
 $h_0$  - коэффициент, учитывающий сопротивление качению шара;

Движение круга полагается плоским.

В третьей главе определяются положения шаров относительно ротора, при которых возможно стационарное вращение ротора вместе с шарами как единого тела

$$\gamma_k = \Omega \cdot t + \Theta_k, \quad \dot{\gamma}_k = \Omega, \quad \ddot{\gamma}_k = 0, \quad (2)$$

где  $\Omega$  - угловая частота вращения ротора принята постоянной,  
 $\Theta_k$  - постоянные углы, определяющие положение шаров относительно ротора.

Принимается, что процесс обработки происходит без отрыва диска от поверхности. Это позволяет найти закон движения оси шпинделя по координате  $\eta$ , а именно  $\eta = -\varepsilon \cdot \sin(\Omega t + \varphi_0)$ , а затем по координате  $\xi$  с учетом

$$T = f \cdot N,$$

где  $\varphi_0$  - угол, характеризующий взаимное положение центра окружности беговой дорожки и центра масс ротора (см. рис.3). Незвестная реакция  $N$  находится из (1). Условием отрыва диска является  $N = 0$ , поэтому первое уравнение системы (1) имеет вид

$$\ddot{\xi} + \omega_\xi^2 \xi = \frac{m_0 e \Omega^2}{M} (\cos \Omega t - f \sin \Omega t) + \quad (3)$$

$$+ \frac{m R \Omega^2}{M} \sum_{k=1}^2 [\cos(\Omega t + \Theta_k) - f \sin(\Omega t + \Theta_k)] + \varepsilon t (\Omega^2 - \omega_\eta^2) \sin(\Omega t + \varphi_0).$$

Положения шаров относительно ротора, при которых равнодействующая сил инерции шаров по модулю равна равнодействующей сил инерции, обусловленных дисбалансом и эксцентриситетом круга, но противоположно направлена

$$\Theta_1 = \pi + \beta_1 - \alpha_1, \quad \Theta_2 = \pi + \beta_1 + \alpha_1, \quad (4)$$

где

$$\alpha_1 = \arccos \frac{\sqrt{(M\varepsilon)^2 \cdot (\omega_\xi^2 - \Omega^2) + (m_0 e)^2 \Omega^4 - 2m_0 e M \varepsilon \Omega^2 (\omega_\xi^2 - \Omega^2) \cos \varphi_0}}{2m R \Omega^2},$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{M \varepsilon (\omega_\xi^2 - \Omega^2) \sin \varphi_0}{M \varepsilon (\omega_\xi^2 - \Omega^2) \cos \varphi_0 - m_0 e \Omega^2}.$$



Углы  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  показаны на рис. 4. На практике частота вращения ротора много больше собственной частоты ручной шлифовальной машины

$$\Omega \gg \omega_{\xi}, \quad (5)$$

поэтому условием достаточной емкости АБУ является

$$2m(R-r) \geq m_0 e + M\varepsilon. \quad (6)$$

Условие устойчивости найденных положений шаров

$$\Omega^2 - \omega_{\xi}^2 > 0. \quad (7)$$

Проведены исследования системы ротор-шары с различными параметрами при стационарном ее вращении в режиме работы под нагрузкой. В качестве параметров системы принимались: масса шлифовального круга, ротора и всей системы; геометрические размеры, масса и количество балансировочных шаров; начальный дисбаланс и эксцентриситет круга; коэффициент сопротивления резанию; усилие прижима машины к поверхности обработки; частота вращения ротора и собственные частоты системы. Годограф виброперемещения при изменении угла между векторами дисбаланса и эксцентриситета от 0 до 360 градусов и амплитудно-частотная характеристика системы для определенных параметров приведены на рис. 5 и рис. 6.

При работе шлифовальной машины под нагрузкой без АБУ годограф виброперемещения имеет вид кардиоиды, повернутой на угол  $\delta = \arctg f$  против направления вращения ротора относительно вектора дисбаланса.

Применение автоматической балансировки позволило снизить величины виброперемещения корпуса ручной шлифовальной практически при любом положении векторов дисбаланса и эксцентриситета на фазовой плоскости.

Определено движение оси ротора машины во время рабочего процесса уравновешенного на холостом ходу и зафиксированных шарах

$$\xi = 0, \quad \eta = -\varepsilon \cdot \sin(\Omega \cdot t + \varphi_0). \quad (8)$$

При незафиксированных шарах имеем симметричные колебания оси по обеим координатам, при чем обусловленных только эксцентриситетом круга

$$\xi = \varepsilon \cdot \cos(\Omega t + \varphi_0), \quad \eta = -\varepsilon \cdot \sin(\Omega t + \varphi_0). \quad (9)$$

Рассмотрено влияние АБУ на износ шлифовального круга. Предполагалось, что износ круга интенсивнее в тех точках, где больше нормальные реакции со стороны обрабатываемой поверхности. Определен закон распределения нормальных реакций  $N$  по периферии круга как с АБУ, так и без него. Нормальные реакции имеют постоянную составляющую

$$N_0 = P + c_{\eta} \cdot l_0$$

и переменную составляющую (10)

$$N_n = \left[ \varepsilon (M\Omega^2 - c_{\eta}) \cos \varphi_0 - \Omega^2 (m_0 e + mR \cos \Theta_1 + mR \cos \Theta_2) \right] \cdot \sin \Omega t + \left[ \varepsilon (M\Omega^2 - c_{\eta}) \sin \varphi_0 - \Omega^2 mR (\sin \Theta_1 + \sin \Theta_2) \right] \cdot \cos \Omega t.$$

Эпюры распределения составляющих нормальной реакции по периферии круга для случая  $\varphi_0 = 0$  при наличии АБУ показаны на рис. 7 и форма износа круга - на рис. 8. Износ абразивного диска с АБУ происходит, так что его центр приближается к оси вращения и в конечном итоге диск принимает форму круга, центр которого совпадает с осью вращения, а система ротор-шары станет уравновешенной. Таким образом непрерывная балансировка с помощью АБУ приводит к увеличению срока службы абразивных кругов и уменьшению уровней вибрации.

В четвертой главе произведен расчет параметров устройства автоматической балансировки на примере прямой шлифовальной машины модели 707.0602222.004 производства ПО АвтоВАЗ. Цель расчета:

- определить требуемую емкость АБУ, исходя из максимально допустимого дисбаланса и отклонения наружной поверхности шлифовального круга, а также найти соотношение радиусов беговой дорожки и шаров, отвечающее заданной точности балансировки.

Сначала определяются области частот существования автоматической балансировки. Если рабочая частота ротора ручной шлифовальной машины выше большей из собственных частот системы человек - машина, то условие существования автобалансировки выполняется.

Затем определяется максимально допустимый дисбаланс шлифовального круга, если известен класс точности. Если класс точности неизвестен, дисбаланс шлифовального круга определяется путем замеров уровней виброскорости на рукоятках машины виброметром и дальнейшим пересчетом его величины из плоскости замеров в плоскость шлифовального круга.

Требуемая емкость АБУ при работе машины под нагрузкой определяется по формуле (6). Для расчета емкости АБУ, содержащего более двух шаров используется формула

$$E = m_0 \cdot e + M\varepsilon_s = \frac{4}{3} \pi \nu R^4 E_y, \quad (11)$$

где  $\nu = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/мм}^3$  - удельная масса шаров;

$E_y$  - условная емкость устройства, определяется из номограмм.

Для конкретной машины рассчитываются габариты обоймы АБУ, число и размеры балансировочных шаров при выбранных параметрах балансировки.

Сформулированы требования к эксцентриситету беговой дорожки шаров относительно оси вращения, к шероховатости поверхности. Определено влияние сил трения, качения и несовпадения плоскостей движения шаров с центром масс шлифовального круга. Для снижения влияния сил кулонова трения в контакте шар-беговая дорожка, форма беговой дорожки выполняется как часть тороидальной поверхности с соотношением радиусов

$$5 \cdot (R_g - r) = 7 \cdot (\rho - r), \quad (12)$$

где  $\rho$  - радиус внутренней поверхности обоймы АБУ в поперечном сечении;  $r$  - радиус шара;  $R_g$  - радиус беговой дорожки.

Приведены разработанные конструкции АБУ двух типов: с беговой дорожкой в виде кольца сферического подшипника (рис.9) и с облегченной обоймой, у которой профиль беговой дорожки выполнен на внутренней ее стенке (рис.10). Массы АБУ составляют 7,5 % и 4,7 % от массы машин соответственно, но технология изготовления облегченного устройства значительно сложнее, так как требует операций закаливания и внутреннего чистового шлифования. Посадочные поверхности на вал и беговые дорожки изготавливаются в размер за одну установку. Разработанные требования и методика расчета шаровых автобалансиров ручных шлифовальных машин позволяет индивидуально спроектировать и изготовить эти устройства для различных типов машин, обеспечив при этом эффективное устранение колебаний от режимного дисбаланса и эксцентриситета наружной поверхности круга.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований ручных шлифовальных машин с АБУ в лабораториях кафедр и заводов, а также в цеховых условиях.

С 1986 года по 1990 год на Волжском автомобильном заводе были проведены исследовательские испытания разработанных автобалансирующих устройств, предназначенных для снижения вредных динамических нагрузок, возникающих в процессе работы ручными шлифовальными машинами. Испытания проводились на прямых шлифовальных машинах модели 707.0602222.004 с горизонтальной осью вращения, торцевых машинах модели 707.0602305.104 с вертикальной осью вращения и угловых машинах модели 707.0602305.004 с горизонтальной осью вращения двигателя и вертикальной осью вращения шпинделя.

Данные машины серийно изготавливаются ПО АвтоВАЗ и снабжены трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором и питаются от сети 135 В, 200 Гц. Применение повышенной частоты питающей сети позволило снизить габариты и вес машин при сохранении высокой

полезной мощности. Максимальная мощность машин 707.0602222.004 и 707.0602370.104 составляет 1000 Вт при номинальной частоте вращения шпинделя - 5800 об/мин. У машины 707.0602305.004 мощность двигателя - 950 Вт при частоте вращения шпинделя под нагрузкой - 1750 об/мин. В угловой машине применен редуктор, который понижает примерно в 3,3 раза частоту вращения ротора двигателя. Массы этих машин без шлифовальной насадки, кабеля и штепселя составляют 5,6 кг; 4,2 кг и 4 кг соответственно.

Эти машины используются как специальное технологическое оборудование на предприятиях автомобильной промышленности и служат для шлифования, полирования поверхностей и зачистки сварных швов.

Испытания шлифовальных машин проводились на испытательном стенде, на холостом ходу и под нагрузкой в соответствии с техническими условиями принятыми на Волжском автомобильном заводе. Способ испытаний в руках оператора. Испытания проводились непрерывно, с постоянным приложением нагрузки. В процессе испытаний измерялись значения уровней виброскорости в трех направлениях. Вибродатчик прикреплялся к рукоятям машин на резьбе. Результаты испытаний шлифовальной машины 707.0602222.004 (рис. 11) представлены спектрограммами:

- на рис. 12 - на холостом ходу; - на рис. 13 - под нагрузкой.

Направления замеров перпендикулярны поверхности обработки. Начальный дисбаланс этой системы может быть небольшим при правильной набивке мягкой шлифовальной планшайбы в виде набора  $x/6$  кругов охваченного кольцевой абразивной шкуркой, о чем свидетельствуют уровни виброскорости машины без АБУ. Максимальные уровни виброскорости составляют 108-111 дБ на холостом ходу и 110-113 дБ под нагрузкой на частотах 63-125 Гц, наиболее близких к номинальной частоте вращения шпинделя. Предельно допустимый уровень виброскорости для частот выше 16 Гц составляет 109 дБ по ГОСТ 17770-86. Для обоих вариантов АБУ (составного и облегченного) отмечается снижение уровней виброскорости на 6 - 10 дБ на рабочих частотах вращения ротора. Максимальные уровни виброскорости с АБУ не превышают 102 - 103 дБ, что на 5-7 дБ ниже санитарных норм по ГОСТ 17770-86 при соблюдении требований к изготовлению АБУ и соответствии шлифовального круга техническим условиям ВА-За. Испытания показали, что для устойчивого снижения вибрации на холостом ходу в качестве корректирующих масс АБУ достаточно использовать два шарика диаметром 16 мм, а при работе под нагрузкой - четыре шарика этого же диаметра. Два дополнительных шарика служат для создания запаса по емкости АБУ, необходимого для устранения колебаний машины из-за биения круга относительно поверхности обработки. Масса АБУ составляла 4 % от массы машины.

Параллельно с испытаниями машины 707.0602222.004 проводились испытания машины 707.0602370.104 торцевого типа. Уровни виброскорости на рукоятях этой машины снизились на 7 - 10 дБ и не превышают 102 - 104 дБ при использовании АБУ. Габаритные размеры устройства: наружный диаметр - 68 мм; толщина - 32 мм. Масса АБУ - 4,7 % от массы маши-

ны. Достаточную емкость устройства балансировки обеспечивают три шарика диаметром 16 мм.

В 1990 году были проведены испытания угловой шлифовальной машины 707.0602305.004 с редуктором, передающим вращение ротора на шпиндель под углом 90 градусов. При большом начальном дисбалансе резиновой планшайбы, увеличение емкости АБУ было достигнуто за счет увеличения радиуса беговой дорожки и увеличения диаметра балансировочных шаров до 19,84 мм. Три шарика обеспечили требуемую емкость балансировки. Масса АБУ составляет 4,9 % от массы машины. Максимальные уровни виброскорости без АБУ на основной и дополнительной рукоятках 109-113 дБ на холостом ходу и 111-112 дБ под нагрузкой. Эти уровни наблюдаются в октавной полосе 31,5 Гц, что соответствует частоте вращения шпинделя (1750 об/мин). Кроме того наблюдается второй вибрационный пик на частотах соответствующих частоте вращения ротора двигателя машины (5800 об/мин). Машины, оснащенные АБУ, имеют низкие уровни виброскорости на рукоятках - 98-100 дБ на холостом ходу и 102-103 дБ под нагрузкой, что на 6-10 дБ ниже санитарных норм ГОСТ 17770-86.

Производственные испытания ручных шлифовальных машин с АБУ проводились в 1988-1990 годах в цехе 42-3 СКП (сварочно - кузовное производство), бригада 141. Технологическая операция - шлифовка горизонтальных поверхностей крыльев черных кузовов автомобилей ВАЗ 2105, ВАЗ 2107 для машины 707.0602222.004; шлифовка стоек крыши, вертикальных поверхностей крыльев и дверок для машины 707.0602370.104; шлифовка выпуклых поверхностей крыльев и стоек для машины 707.0602305.004. Замеры уровней виброскорости шлифовальных машин производились при помощи прибора ВШВ-003 на холостом ходу и под нагрузкой. Методика испытаний идентична лабораторным испытаниям. Вибрация измерялась в направлениях перпендикулярных обрабатываемой поверхности, т.е. в тех направлениях где она максимальна. В результате применения АБУ обеих конструкций на серийных машинах 707.0602222.004 и 707.0602370.104 отмечается снижение уровней вибрации на 5-10 дБ на рабочих частотах вращения шпинделя машин (63-125 Гц), как на холостом ходу, так и под нагрузкой. Время переходного процесса балансировки или установки шаров АБУ в стационарные состояния составляет менее одной секунды.

В ходе эксплуатационных испытаний получена субъективная оценка работы шлифовальных машин с АБУ у рабочих - операторов на кузовном конвейере. Операторам более удобно работать на торцевой шлифовальной машине 707.0602370.104, так как она легче прямой шлифовальной машины 707.0602222.004 на 1,4 кг, а самое главное, дополнительное увеличение массы машины на 4 % за счет АБУ, воспринимается оператором на обе руки. Прямая и угловая шлифовальные машины имеют вытянутую форму и увеличение массы шпиндельного узла за счет установки АБУ, полностью приходится на дополнительную рукоять и ощущается левой рукой оператора.

В 1988 году на заводе изготовителе были проведены вибрационные испытания АБУ пневмошлифовальной машины МШ - 230 (рис. 14). Целью испытаний, помимо определения эффективности АБУ, было еще и исследование характера износа шлифовального круга. Испытания проводились на двух машинах, оснащенных АБУ. Способ испытаний - в руках оператора при обработке стальной поверхности в производственных условиях. Для каждой машины было подобрано по два круга с близкими по величине дисбалансами в исходном состоянии. Предварительная правка кругов не производилась. Измерения вибрационных параметров проходили от начала работы до полного износа круга в одном случае с АБУ, а в другом без него. Усилие нажатия на рукоятки машины не контролировались. Период каждого измерения составлял четыре минуты. Измерения проводились на аппаратуре фирмы "Брюль и Кьер". На обеих рукоятках машины на резьбе закреплялись датчики, сигнал с которых поступал на предварительные усилители, потом записывался на магнитофон. Направления замеров уровней виброскорости показаны на рис. 15, где изображен общий вид шлифовальной машины МШ-230. Между измерениями вибрационных параметров определялась высота круга. Результаты измерений были обработаны на анализаторе спектра в реальном масштабе времени и усреднены. Для уменьшения ошибки усреднения, относительные величины виброскорости, измеряемые в логарифмическом масштабе, переводились в абсолютные величины, а после усреднения были переведены обратно в относительные. Таким образом были получены средние значения амплитуд виброскоростей на рукоятках машины в октавных полосах частотного спектра, которым соответствует вибрация, реально ощущаемая руками операторов во время работы машины под нагрузкой. Результаты испытаний представлены на рис. 16 спектрограммами уровней виброскорости на обеих рукоятках машины.

Проведенные испытания показали, что применение АБУ ручной шлифовальной машины МШ-230 привело к снижению уровней виброскорости в октавных полосах 16; 31,5 и 63 Гц на 18, 15 и 9 дБ соответственно. Отмечен более медленный износ шлифовального круга при установке АБУ на машину. Время работы круга до полного износа без АБУ составило 32 минуты, а с АБУ - 48 минут при той же производительности. Это позволяет сделать вывод о целесообразности использования АБУ в данной шлифовальной машине.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что автобалансирующие устройства эффективно устраняют режимное изменение дисбаланса ротора. Шаровые автобалансирующие устройства целесообразно использовать в ручном механизированном инструменте, в частности в шлифовальных машинах, так как они имеют достаточно высокие уровни вибрации и быстрое изменение дисбаланса шлифовальных насадок в ходе технологического процесса. Данные



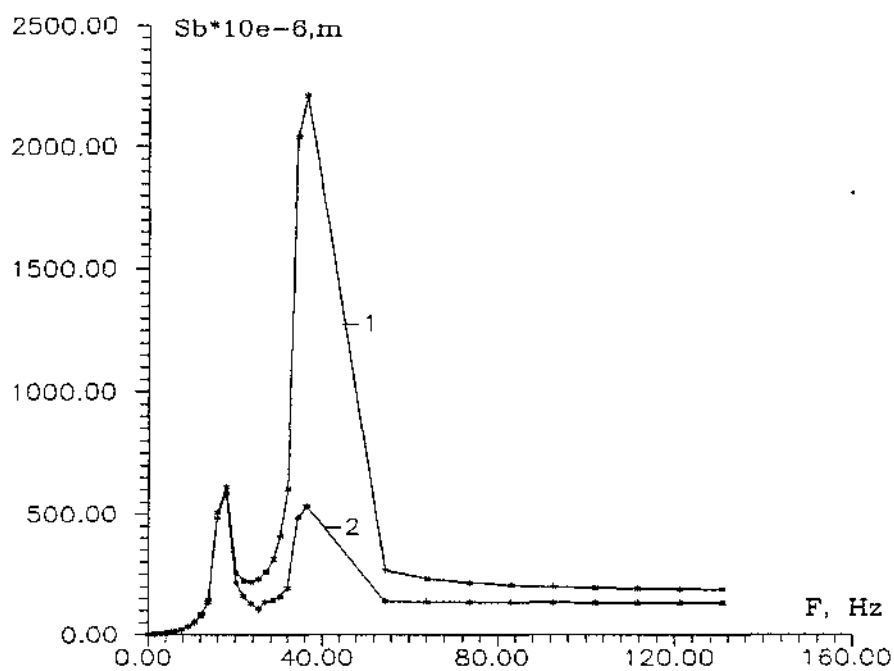


Рис. 6

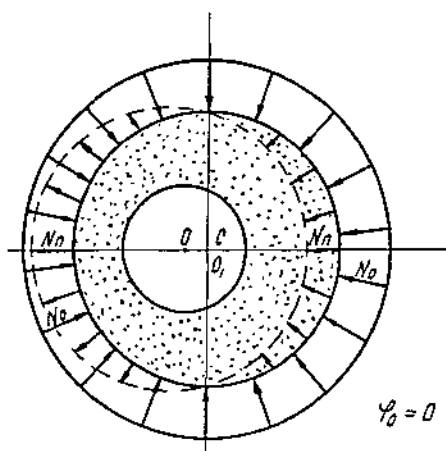


Рис. 7

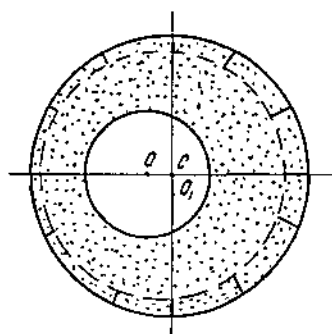


Рис. 8



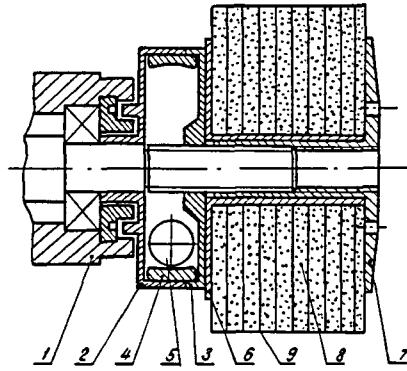


Рис. 9

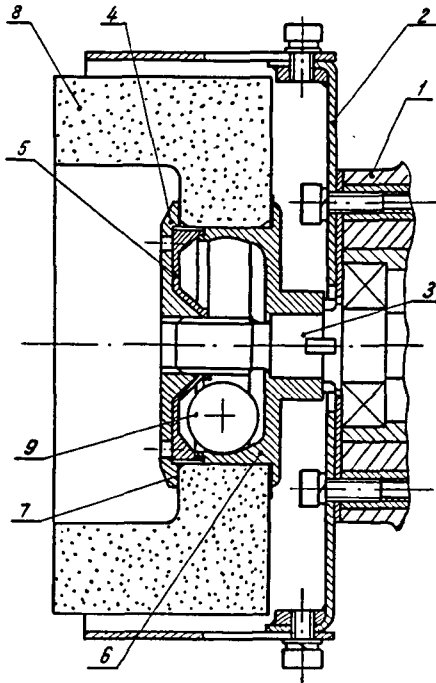


Рис. 10

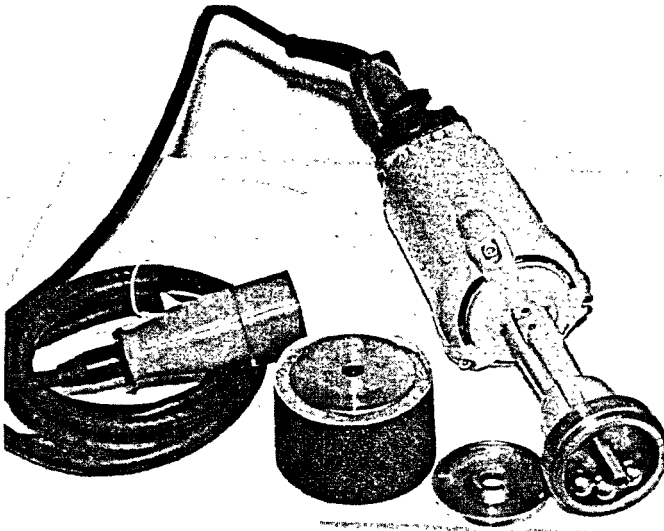


Рис. 11

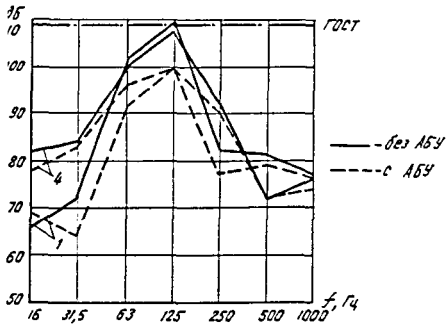


Рис. 12

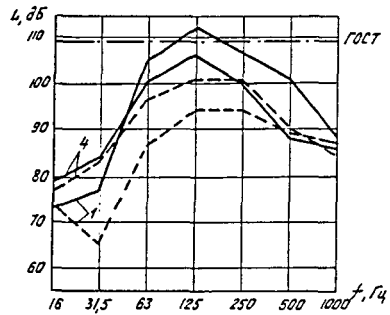


Рис. 13

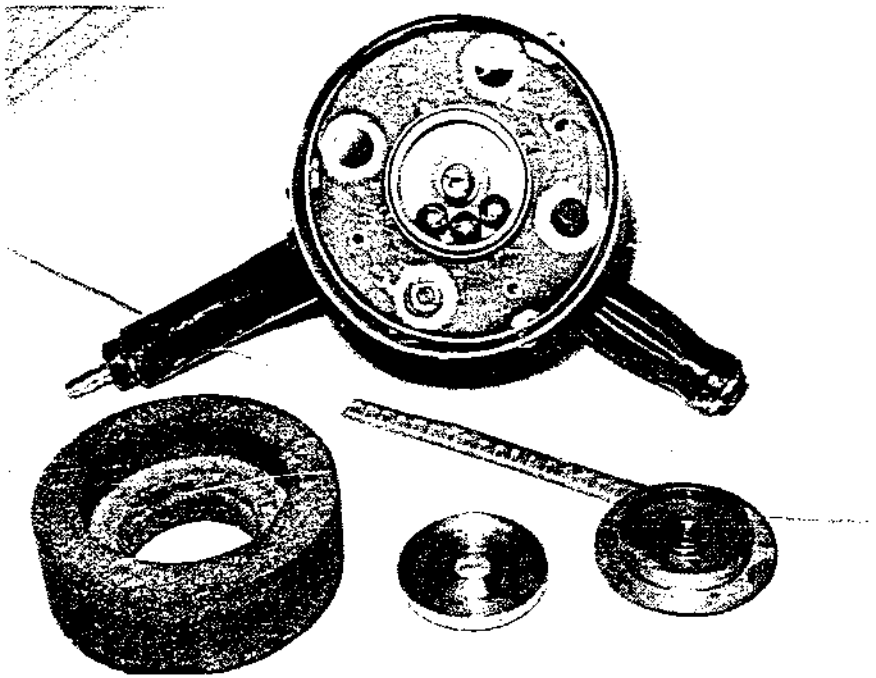


Рис. 14

Направления замеров уровней  
виброскорости

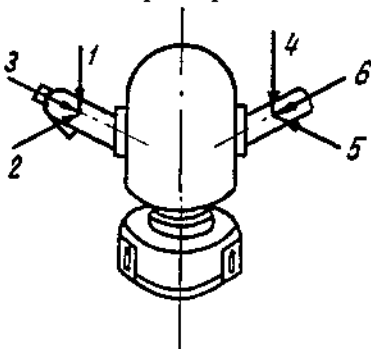


Рис. 15

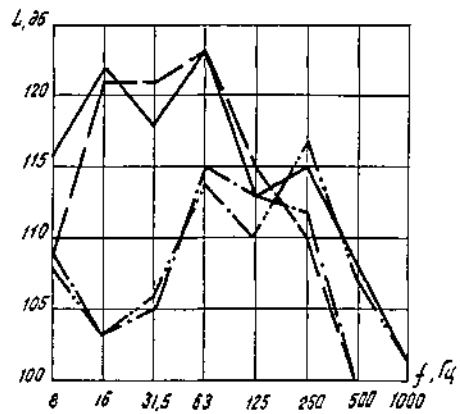


Рис. 16

АБУ, обладающие малыми массой и габаритами, не требуют дополнительных источников энергии, позволяют обеспечить высокую точность балансировки.

Полученные теоретические выводы о влиянии силового и кинематического возбуждения колебаний, параметров системы ротор - шары на работу автобалансирующих устройств ручных шлифовальных машин, а также требования к параметрам и конструкции этих устройств, были подтверждены экспериментально. При заданной точности балансировки, характеризуемой уровнями виброскорости на рукоятках машин не превышающими 109 дБ, имеется реальная возможность конструктивно и технологически обеспечить эти требования. АБУ дают возможность снизить уровни виброскорости на рукоятках машин в случае возможного ужесточения норм вибрации. Это подтвердилось при изготовлении и испытании двух вариантов конструкции автобалансирующих устройств для четырех типов машин.

Экспериментальные исследования автобалансирующих устройств, разработанных для ручных шлифовальных машин подтвердили вывод о том, что их использование снижает уровни виброскоростей как на холстом ходу, так и под нагрузкой до уровней санитарных норм в случае выполнения требований к проектированию, изготовлению, установке АБУ на машину. При этом увеличивается срок службы абразивных кругов и насадок.

Внедрение АБУ объективно требует повышения технологического уровня не только при изготовлении самих автобалансиров, но и при производстве и сборке ручного инструмента, что несомненно способствует росту его экологической безопасности и облегчению условий труда.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Катанухина С.Л., Соколов А.П., Кладиев С.Н. Вибрация ручных шлифовальных машин как двухмассовой системы // Материалы пятой региональной научн.-практ. конф. Молодые ученые - ускорению НТП. - Гомск: ТГУ, 1986 - С. 63.

2. Кладиев С.Н. и др. Ручная шлифовальная машина с автобалансом: Проспект ВДНХ СССР. Подготовка специалистов и вклад ученых вузов Сибири и Дальнего Востока в решение комплексно-целевых программ развития регионов. - М., 1986. - 1 с.

3. Кладиев С.Н. и др. Машина шлифовальная с автоматической балансировкой ИЭ-2011: Проспект ВДНХ СССР. Подготовка специалистов и вклад ученых вузов Сибири и Дальнего Востока в решение комплексно-целевых программ развития регионов. - М., 1986. - 1 с.

4. Кладиев С.Н., Катанухина С.Л., Ракитин Е.Н. Гаситель колебаний средств механизации и автоматизации технологических процессов // Тез. докл. региональной научн.-техн. конф. Автоматизация и механизация в машиностроении. - Кемерово, 1988. - С. 58-59.

5. Нестеренко В.П., Соколов А.П., Кладиев С.Н. Автоматическая балансировка роторов как средство борьбы с вибрацией // Тез. докл. Второй Всесоюзн. научн.-техн. конф. Вибрация и вибродиагностика. Проблемы стандартизации. - Горький, 1988. - С. 266.

6. Нестеренко В.П., Кладиев С.Н., Катанухина С.Л. Практика использования автобалансирующих устройств ручного механизированного инструмента // Тез. докл. Второй Всесоюзн. научн.-техн. конф. Вибрация и вибродиагностика. Проблемы стандартизации. - Горький, 1988. - С. 267.

7. Нестеренко В.П., Катанухина С.Л., Кладиев С.Н., Певнев Б.А., Фурманов А.М. Автобалансирующие устройства ручного механизированного инструмента // Механизация и автоматизация производства. - 1988. - № 4. - С. 17-18.

8. Нестеренко В.П., Соколов А.П., Кладиев С.Н. Многорезервуарное жидкостное автобалансирующее устройство // Тез. докл. Всесоюзн. научн.-техн. конф. Современные методы и средства уравнивания машин и приборов: г. Воронеж, 21-23 июня 1989 г. - М., 1989. - С. 55-56.

9. Нестеренко В.П., Кладиев С.Н., Катанухина С.Л. Испытания автобалансирующих устройств ручных шлифовальных машин в условиях производства // Тез. докл. Всесоюзн. научн.-техн. конф. Современные методы уравнивания машин и приборов: г. Воронеж, 21-23 июня 1989 г. - М., 1989. - С. 56-57.

10. Кладиев С.Н., Нестеренко В.П. Шаровые динамические гасители изгибных колебаний ротора // Тез. докл. Второй Всесоюзн. конф. Проблемы виброизоляции машин и приборов: г. Иркутск, 11-15 сентября 1989 г. - М., 1989. - С. 78.

11. Нестеренко В.П., Рудаченко Т.М., Кладиев С.Н. Снижение уровней вибрации промышленных вентиляторов // Тез. докл. Второй Всесоюзн. конф. Проблемы виброизоляции машин и приборов: г. Иркутск, 11-15 сентября 1989 г. - М., 1989. - С. 116.

12. Нестеренко В.П., Кладиев С.Н. Влияние автобалансирующего устройства на вибрацию ручной шлифовальной машины и износ шлифовального круга // Тез. докл. Всесоюзн. научн.-техн. совещ. Основные направления повышения технического уровня и качества ручных машин: г. Даугавпилс, октябрь 1989 г. - М., 1989. - С. 98.

13. Нестеренко В.П., Кладиев С.Н. Снижение вибрации ручных шлифовальных машин методом автоматического балансирования // Тез. докл. научн.-техн. семинара по вопросам борьбы с шумом и вредной вибрацией: г. Свердловск, 14-15 декабря 1989 г. - Свердловск, 1989. - С. 29-30.

14. Нестеренко В.П., Соколов А.П., Кладиев С.Н. Автобалансирующие устройства для пневматических шлифовальных машин // Механизация и автоматизация производства. - 1990. - № 10. - С. 11-13.

15. Нестеренко В.П., Кладиев С.Н. Снижение виброактивности ручных шлифовальных машин с помощью автоматических балансирующих устройств // Автоматизация и современные технологии. - 1994. - № 1. - С. 15-19.

16. Нестеренко В.П., Кладиев С.Н. Повышение надежности промышленных вентиляторов с помощью автоматической балансировки // Тез. докл. 9-го отраслевого совещания. Проблемы и перспективы развития Томского нефтехимического комбината. - Томск, 1995. - с. 110-111.

17. А.с. 1298275 СССР, МКИ<sup>3</sup> D 06 F 49/06. Центрифуга для отжима белья / В.П. Нестеренко, А.П. Соколов, С.Н. Кладиев, С.Л. Катанухина (СССР). - № 3977062/31-12; Заявлено 19.11.85; Оpubл. 23.03.87. Бюл. № 11. 2 с. : ил.

18. А.с. 1352271 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 M 1/38. Автобалансирующее устройство / В.П. Нестеренко, А.П. Соколов, С.Н. Кладиев, Е.Н. Ракитин (СССР). - № 3997215/25-28; Заявлено 30.12.85; Оpubл. 15.11.87. Бюл. № 42. 2 с. : ил.

19. А.с. 1428877 СССР, МКИ<sup>3</sup> F 16 F 15/12. Динамический гаситель колебаний / В.П. Нестеренко, А.П. Соколов, С.Л. Катанухина, С.Н. Кладиев (СССР). - № 4014786/25-28; Заявлено 31.01.86; Оpubл. 07.10.88. Бюл. № 37 - 3 с. : ил.

20. А.с. 1441214 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 M 1/38. Автобалансирующее устройство / В.П. Нестеренко, А.П. Соколов, С.Л. Катанухина С.Н. Кладиев (СССР). - № 4253515/25-28; Заявлено 01.06.87; Оpubл. 30.11.88. Бюл. № 44. - 2 с. : ил.

21. А.с. 1536228 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 M 1/38. Балансирующее устройство / В.П. Нестеренко, С.Н. Кладиев, А.П. Соколов, С.Л. Катанухина (СССР). - № 4421889/25-28; Заявлено 05.05.88; Оpubл. 15.01.90. Бюл. № 2. - 2 с. : ил.

22. А.с. 1684607 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 M 1/38. Автобалансирующее устройство / В.П. Нестеренко, С.Н. Кладиев, А.П. Соколов, С.Л. Катанухина (СССР). - № 4438133/28; Заявлено 10.06.88; Оpubл. 15.10.91. Бюл. № 38. - 4 с. : ил.



Подписано к печати 23.05.96г.

Заказ 1065. Тираж 100 экз.

Северск, пр. Коммунистический, 65.

Отделение № 1 ТПУ. RISON FT 4222