

М 259079

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

МОСКОВСКОЕ
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

ПОРОХНИН Александр Анатольевич

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСЦЕНТРОВОГО НАРУЖНОГО ПРОДОЛГНОГО
ШЛИФОВАНИЯ НЕУРАВНОВЕШЕННЫМ ШИРОКИМ КРУГОМ

05.02.08 - Технология машиностроения

А в т о р а ф е р а т
диссертаций на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1975

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена в МВТУ им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Горбунов Б.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Петров Г.Н.
кандидат технических наук, доцент Комаров В.В.

Ведущее предприятие - Московский автомобильный завод им.
И.А.Лихачева

Автореферат разослан " _____ " _____ 1975г.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1975г.

на заседании Совета факультета "Автоматизация и механизация
производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005,
2-я Бауманская, 5.

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

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

дс

ВЛАНОВ Ю.А.

Зак.

пр. 120.

90684

м. 27/1 1975г.

M 259079

Актуальность проблемы. Директивы XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР указывают на необходимость расширения выпуска станков высокой и особо высокой точности, автоматических и полуавтоматических линий. Известно, что именно процессы абразивной обработки обеспечивают высокую точность. Уже сейчас в парке станков оборудования для абразивной обработки составляет 26%, а в производстве подшипников, например, 65% операций выполняется при помощи абразивных инструментов. Одним из прогрессивных методов абразивной обработки является бесцентровое шлифование. Оно позволяет вести высокопроизводительную предварительную и финишную обработки, легко поддается автоматизации, а при применении кругов шириной 500 мм и более, вместо обычных кругов шириной 150+200 мм резко увеличивается производительность процесса за счет сокращения числа проходов.

Высокие требования к точности размеров и формы деталей, обрабатываемых методом бесцентрового шлифования обуславливают значительное удельное влияние динамических процессов в станках. Допускаемая погрешность формы часто не превышает 1-4 мкм. В таких условиях велика роль вынужденных колебаний, вызванных неуравновешенностью шлифовального круга особенно при повышении скоростей резания. Уже сейчас на передовых предприятиях находят применение скорости резания 50-60 м/с, известно применение рядом иностранных фирм при бесцентровом шлифовании скорости резания свыше 100 м/с. Имеются сообщения об исследовании за рубежом шлифования при скоростях резания 180 м/с.

Существующие методы уравнивания шлифовальных кругов вне станка уже не отвечают запросам промышленности как по точности так и по производительности, особенно при применении широких кругов, где требуется компенсация не только главного вектора неуравновешенных центробежных сил, но и главного момента, проявление которого увеличивается с ростом ширины круга. Применяемое в промышленности уравнивание широких шлифовальных кругов на балансировочной машине с последующей подбалансированной на станке методом пробных пусков для обеспечения требуемой точности, является весьма трудоемким процессом.

Цель исследования. Целью настоящей работы являлось исследование влияния неуравновешенности круга на качество бесцентрового наружного продольного шлифования широким кругом и разработка устройства, уравнивающего вращающийся круг.

Методы исследования. В работе применялись теоретические и экспериментальные методы основ технологии машиностроения и теории механических колебаний с применением соответствующего математического аппарата. Экспериментальная часть работы проводилась в условиях Московского завода автоматических линий имени 50-летия СССР на современном бесцентровошлифовальном станке новой модели СЛ 52I выпускаемом этим же заводом.

Научная новизна. Впервые выявлены закономерности, позволяющие анализировать погрешности бесцентрового шлифования в связи с моментно-силовой неуравновешенностью круга, разработана методика проектирования устройств для моментно-силового уравнивания.

Практическая ценность. На основании проведенных исследований указаны пути снижения влияния вынужденных колебаний технологической системы на качество обработки уравниванием и динамической наладкой, а также даны рекомендации по проектированию и применению уравнивающих устройств в технологическом процессе и сочетании правки с уравниванием. Создано устройство для моментно-силового уравнивания, отвечающее требованиям патентной чистоты.

Апробация работы. По основным разделам работы сделаны доклады на У Всесоюзной научно-технической конференции по применению современных методов и средств уравнивания машин и приборов, Тольятти, 1973г., на Всесоюзной конференции "Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей приборов и машин", Москва, 1973г., на научном семинаре во Всесоюзном заочном машиностроительном институте, Москва, 1974г.

Объем работы. Диссертация изложена на 147 страницах машинописного текста, включающих введение, четыре главы, выводы по каждой главе, общие выводы по работе, содержит 96 рисунков, список литературы из 70 наименований.

В первой главе приводится обзор современных научно-производственных и патентных данных по теме исследования, дана классификация устройств для уравнивания вращающегося круга.

Вопросами неуравновешенности шлифовальных кругов и ее влияния на обработку шлифованием в СССР занимаются ЭНИМС, МАИ, МВТУ им. Баумана, СТАНКИН и др. В МАИ под руководством профессора Д.Г.Петрухи, показано, что эксплуатационная неуравновешенность

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

увеличивается в процессе шлифования. Аналогичные результаты получены в МВТУ им. Баумана, кроме того выявлено, что неуравновешенность при бесцентровом шлифовании существенно ухудшает качество шлифуемых деталей. В СТАНКИНЕ под руководством профессора В.Э.Луша проведены работы показавшие, что неуравновешенность увеличивает волнистость при внутреннем шлифовании. Исследования влияния неуравновешенности на качество обработки при шлифовании кругами шириной 500 + 600 мм отсутствуют.

Для повышения точности обработки находят все более широкое применение специальные устройства для уравнивания вращающегося шлифовального круга непосредственно на станке. Первые устройства подобного типа работали методом самоустановки специальных компенсирующих масс. Конструкции устройств, действующих на подобном принципе были созданы ЭНИМСом, а также фирмой **CINCINNATI**, но они не получили промышленного применения.

В настоящее время применяются устройства фирмы **FRITZ STUDEF** (Швейцария), работающие путем снятия материала с вращающегося круга и устройства с принудительным перемещением компенсирующих масс фирмы **HOFFMANN** (ФРГ).

Устройствами фирмы **HOFFMANN** оснащают свои станки фирмы США **CINCINNATI MILACRON & BRUANT**, Италии **GISTINA TORINO**, ФРГ **KOENIG**, Японии **OKUMA**. По данным фирмы **HOFFMANN** применение устройств для уравнивания круга на станке методом принудительного перемещения компенсирующих масс позволяет повысить точность устранения неуровненности, например, по сравнению с уравниванием на балансировочных весах, в 8 + 14 раз и увеличить производительность этого процесса в 8 + 15 раз. В СССР также выпускаются подобные устройства Витебским и Харьковским станкозаводами. Уравнивание методом принудительного центрования разрабатывается в МАИ, однако промышленного применения для шлифования этот метод не получил.

В работе приведена классификация кинематических и конструктивных признаков устройств с принудительным перемещением компенсирующих масс которая позволяет проводить сравнение различных существующих уравнивающих устройств и осуществлять синтез новых устройств.

Существующие устройства способны устранять только силовую

составляющую неуравновешенности, поэтому создание подобных устройств для компенсации моментно-силовой неуравновешенности, потребность в которых возникает при применении широких шлифовальных кругов является задачей сегодняшнего дня к решению которой приступили ведущие фирмы.

Для достижения поставленной в работе цели были решены следующие задачи:

1. Исследована динамика станка в связи с влиянием неуравновешенности шлифовального круга.

2. Вскрыта сущность процесса формообразования при воздействии неуравновешенного узла шлифовального шпинделя на элементы динамической системы станка.

3. Установлена степень влияния силовой и моментной неуравновешенности на некруглость, волнистость, шероховатость обрабатываемой детали и указаны требования к уравниваемости шлифовального шпинделя с широким кругом.

4. Исследовано изменение качества обработки поверхности в процессе шлифования неуравновешенным широким кругом.

5. Исследована роль процесса правки неуравновешенного круга на качество шлифования.

6. Исследовано изменение качества шлифования в зависимости от уравнивания и правки.

7. Спроектировано уравнивающее устройство устраняющее моментно-силовую неуравновешенность.

Во второй главе приводится общая методика исследований предусматривающая: проведение динамических исследований станка, изучение влияния неуравновешенности на процесс формообразования детали; определение влияния силовой и моментной неуравновешенности на качество деталей и его изменения в процессе шлифования неуравновешенным кругом; изучение роли правки в проявлении неуравновешенности на качество шлифования; проектирование устройства для моментно-силового уравнивания.

Испытания динамической системы станка показали, что доминирующим источником вынужденных колебаний станка является неуравновешенный шлифовальный шпиндель. На основании полученных данных составлена математическая модель колебаний неуравновешенного шлифовального шпинделя как одномассовой системы с четырьмя степенями свободы с учетом демпфирования и гироскопического

эффекта. Это позволило установить аналитические зависимости пространственных виброперемещений шпинделя от неуравновешенности.

Исследования по формообразованию деталей при бесцентровом шлифовании проводились до сих пор в предположении, что шлифовальный круг идеально уравновешен. В данной работе установлены особенности формообразования поперечного и продольного сечения детали при шлифовании с учетом неуравновешенности круга. Для практического использования предложена карта периодических погрешностей от взаимного обката детали и неуравновешенного круга, выражающая соотношения скоростей круга и детали при которых на периферии изделия за один или несколько оборотов укладывается целое число волн. Карта построена для числа граней до 15. Она проверена экспериментально. Числа граней образуемых на детали от неуравновешенности соответствуют определенным по карте. В экспериментах не получена некруглость для образования, которой нужно более трех полных оборотов детали из-за проскальзывания детали и образования огранки большей величины с меньшим числом граней. По числу образовавшихся граней можно судить о действительной скорости вращения детали.

Волнистость и шероховатость в продольном сечении детали связаны с процессом образования поперечной некруглости, а следовательно с соотношением частоты вращения деталей с частотой неуравновешенной центробежной силе. Характер распределения некруглости по длине детали зависит от вида колебаний шлифовального шпинделя и колебаний самой детали при неуравновешенности круга различного вида. Исходя из геометрических предпосылок представлена модель взаимодействия неуравновешенного круга со столбом шлифуемых деталей хорошо согласующаяся с результатами экспериментов. Эта модель дает возможность предсказывать искажения пространственной формы детали от действия колебаний образующей круга. Форма детали задается радиусом R , в зависимости от угла поворота этого радиуса по длине детали X :

$$R = f(\beta, X, A_1, A_2, \varphi, d, l)$$

где A_1, A_2 - значения амплитуд виброперемещений торцов круга,

φ - одвиг фаз между ними,

l - ширина круга;

α - угол поворота круга.

Рассмотрение чисто геометрической картины не дает полного объяснения полученного экспериментально распределения некруглости в продольном сечении при силовой неуравновешенности, а при моментной увеличении некруглости на заднем торце детали. Причины указанных явлений можно выяснить, если предположить, что деталь в процессе обработки совершает колебания различных видов.

В работе определены степень влияния моментной и силовой составляющей неуравновешенности на качество шлифования. Данные экспериментов приведены в таблице

	Н е у р а в н о в е ш е н н о с т ь								
	с и л о в а я					м о м е н т н а я			
	главный вектор /кг/					главный момент /кг.м/			
	0	64,8	128	190	0	19,9	39,3	58,4	
Центробежная сила на фланце круга, кг	0	32,4	64	85	0	32,4	64	85	
Некруглость, мкм	1,9	2,1	2,4	2,75	1,9	2,4	2,8	3,2	
Волнистость, мкм	0,75	1,1	1,6	2,1	0,75	1,2	1,5	2,1	
Шероховатость, мкм	0,65	0,69	0,77	0,79	0,65	0,66	0,69	0,79	
Виброперемещения выходной опоры, мкм	1,2	2,5	4,2	6	1,2	1,4	2,1	3,2	
Виброперемещения выходной кромки круга от неуравновешенности	0	3	5,9	8,9	0	1,0	1,9	2,8	

Анализ табличных данных показал, что силовая и моментная неуравновешенность при одинаковых центробежных силах на фланцах круга вызывает примерно одинаковое увеличение волнистости и шероховатости, при моментной неуравновешенности получено большее увеличение некруглости, но меньшее виброперемещений опор. Сопоставлять моментную и силовую неуравновешенность по степени влияния их на процесс шлифования по неуравновешенным силам нецелесообразно, т.к. формообразующим элементом является кромка круга, колебания которой зависят кроме как от силовых

факторов, еще от динамических свойств системы.

Предложен критерий сопоставления моментной и силовой неуравновешенности — амплитуда колебаний торца круга со стороны выхода деталей. Таким образом для исследуемого станка с широким кругом роль моментной составляющей неуравновешенности велика и вполне сопоставима с ролью силовой составляющей.

В работе приводятся данные исследования по изменению качества шлифованных деталей во времени при наличии неуравновешенности круга. Некруглость в процессе шлифования увеличивается за период стойкости инструмента без неуравновешенности на 50%, а с неуравновешенностью на 20%, причем с неуравновешенностью ее абсолютное значение больше, но скорость роста замедлена. Шероховатость при наличии неуравновешенности улучшается на 35%, а без неуравновешенности на 15%, так как с неуравновешенностью происходит интенсивный износ тяжелой части шлифовального круга. Продольная волнистость, имеющая шаг равный подаче изделия на оборот, без неуравновешенности увеличивается в 2 раза в связи с общим ухудшением качества процесса, а с неуравновешенностью уменьшается на 10-15% в результате износа тяжелой части шлифовального круга, оказывающей наибольшее возмущение на процесс шлифования.

Размерная стойкость наладки при выдерживании допуска на размер по I классу точности при силовой неуравновешенности уменьшается на 50%, а при моментной на 20%.

В третьей главе описаны данные по исследованию влияния правки неуравновешенного широкого круга на повышение качества обработки.

При уравнивании совмещается главная центральная ось инерции шпинделя с осью вращения. При этом также меняется траектория движения наружной поверхности шлифовального круга, непосредственно влияющая на формообразование детали. Фактором образующим геометрию наружной поверхности является правка. Важно знать какое действие оказывает на процесс шлифования действие сочетания этих двух факторов.

Исследования начаты с определения влияния правки при наличии неуравновешенности шпинделя, на основании чего сделано предположение о важности очередности проведения правки и уравнивания, а затем проведены такие исследования. Для решения первой

задачи круг перед шлифованием каждой партии деталей уравнивался и правился, затем вносилась неуравновешенность, проводилось шлифование, правка и снова шлифование. Измерение некруглости обработанных деталей, показало, что возникновение, например, силовой неуравновешенности с главным вектором 190 кг вызывает увеличение некруглости с 2,4 мкм до 6 мкм, проведенная же правка неуравновешенного круга снижает это значение до 4,6 мкм. Таким образом правка неуравновешенного круга не уничтожает некруглости деталей, а лишь частично ее снижает.

Это возможно вследствие различной динамической жесткости системы СПИД при правке и шлифовании. Обратный переход от неуравновешенного состояния к уравновешенному также не уничтожит биения образующей. Эксперименты показали, что если правка проведена при наличии неуравновешенности, то уравнивание снижает некруглость на 20%, а при сочетании с последующей правкой в 4-5 раз, что позволило получить некруглость величиной 0,25 мкм. Правка уравновешенного круга не приводит к существенному увеличению вибрации опор шпинделя, что позволит в производственных условиях обходиться одним циклом уравнивания - правка. В работе приводится схема образования некруглости поясняющая эти явления. Если учитывать только биение оси круга в направлении правки $2e_{пр}$ и в направлении шлифования $2e_{шд}$, то образующая круга получит биения в направлении шлифования:

а) при правке уравновешенного круга после внесения неуравновешенности $2e_{шд}$;

б) при правке неуравновешенного круга $2(e_{шд} - e_{пр})$

в) при последующем уравнивании $2e_{пр}$

В четвертой главе рассмотрены вопросы проектирования устройств для уравнивания шпинделей портального типа во время вращения принудительным перемещением компенсирующих масс. При разработке конструкции устройств следует руководствоваться классифицированными конструктивными и кинематическими признаками. Кинематика перемещения компенсирующих масс устройства во многом определяет его рабочие характеристики. Из реальных схем движения общего центра масс в плоскости изправления, выделены элементарные перемещения при движении компенсирующего груза в радиальном направлении, при движении груза по окружности и при одновременном совместном повороте двух грузов на одинаковой угол.

Для этих схем построены графики функций изменения модуля неуравновешенности шлифовального шпинделя при перемещениях компенсирующих грузов и проанализирован их вид. Для численного сравнения особенностей кинематики реализуемых в устройствах видов траекторий составлена математическая модель процесса уравнивания, которая описывает зависимость между параметрами уравнивающего устройства, коэффициентом загрузки C_2 и линейной и угловой погрешностью положения i -го компенсирующего груза $\Delta \xi_i$ и $\Delta \varphi_i$ и относительной точностью работы устройства C_1 , т.е.

$$C_1 = f(C_2, \Delta \xi_i, \Delta \varphi_i)$$

где C_1 - отношение остаточной неуравновешенности шпинделя и устройства, а C_2 - неуравновешенности только шпинделя и максимально устранимой данным устройством неуравновешенности

$\Delta \xi_i$ - отношение погрешности положения компенсирующих грузов к наибольшему возможному его радиусу;

$\Delta \varphi_i$ - величина угла погрешности положения компенсирующего груза.

Составленное математическое описание дало возможность сравнить кинематические признаки различных схем по следующим параметрам: продолжительности процесса, достигаемой точности, степени зависимости точности от неуравновешенности круга, степени зависимости точности от погрешности положения компенсирующих масс и учитывать их особенности в компенсирующих решениях.

Для бесцентрово-шлифовального станка СЛ 52I спроектировано уравнивающее устройство с траекторией движения общего центра масс по дугам окружности и отрезкам радиусов. Эта траектория осуществима при расположении грузов внутри кольцевой полости имеющейся в шпинделе, что обеспечивает возможность смены кругов без снятия устройства, защищенность от СОЖ и отходов шлифования, легкость доступа к нему для технического обслуживания. В случае моментно-силового уравнивания особенно важно, что при данной схеме процесса осуществляется в каждой плоскости исправления за два движения: повтором совместно двух грузов в противофазу вектору неуравновешенности на одинаковый угол в разные стороны для компенсации неуравновешенности по фазе.

В работе приводится математическое описание и графическое построение работы данного устройства при компенсации фазы и величины неуравновешенности в одной плоскости исправления, а

также при двухплоскостном моментно-силовом уравнивании. Графики имеют минимум, абсолютная величина которого определяется неуравновешенностью круга, весом и положением компенсирующих грузов и устройства. Поэтому наиболее рациональный тип построения управления таким устройством экстремальный. Уравнивание при этом производится так: компенсирующие массы устройства перемещаются до достижения локального минимума и производится переключение на второе движение компенсирующих масс, при этом направление требуемого движения определяется путем экспериментирования до получения убывания сигнала вибрации. Процесс моментно-силового уравнивания может быть проведен за два движения в каждой плоскости исправления. Исключение составляет тот случай, когда в начальном положении грузы в плоскости исправления занимают противофазное друг другу положение. При этом их сначала надо вывести из этого состояния.

На основании составленного математического описания предложена методика расчета точности устройства на этапе его проектирования с учетом погрешностей от определения экстремального положения грузов по остаточной неуравновешенности $\Delta\varphi_{ji}$, от инерционного запаздывания в срабатывании самого устройства $\Delta\varphi_{ji}$ и управляющей системы $\Delta\varphi_{ji}$ (j - вид движения грузов). Общая погрешность по углу выразится:

$$\Delta\varphi_j = \sum_{ji} \Delta\varphi_{ji}$$

Ожидаемая относительная точность работы устройства описывается выражением:

$$C_1 = \frac{1}{2} \sqrt{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)^2 + [2C_2 - (\cos \theta_2 + \cos \theta_1)]^2},$$

где: $\theta_1 = \varphi + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2$; $\theta_2 = \varphi - \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2$; $\varphi = \arccos C_2 \cdot \cos \Delta\varphi$

Для спроектированного устройства применен автономный электропривод с размещением электродвигателя во внутренней кольцевой полости шпинделя. Две одинаковых системы компенсирующих грузов размещенных в разных плоскостях исправления позволяют производить моментно-силовое уравнивание. Спроектированное устройство отличается новизной конструктивных решений и промышленной полезностью. Имеется положительное решение патентной экспертизы по данному устройству. На примере устройства указано на существование трех режимов работы, вызывающих экстремальные нагрузки

в его элементах при пуске, при стационарной работе и при пуске шпинделя станка.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Неуравновешенность широкого круга при шлифовании значительно ухудшает такие важнейшие характеристики качества изделий типа поршневых пальцев, плунжеров, колец подшипников как некруглость, волнистость, шероховатость, а также уменьшает размерную стойкость наладки.

2. Исследования динамической системы станка СЛ 52I позволили установить, что при шлифовании с неуравновешенностью круга решающее воздействие на качество оказывают колебания шлифовального шпинделя поступательного и углового вида. Анализ колебаний этих видов позволяет объяснить образование при моментной и силовой неуравновешенности различной по величине некруглости. Отмечено, что на характер распределения некруглости по длине детали влияют колебания самой детали.

3. Сопоставление влияния разных видов неуравновешенности на качество деталей при шлифовании показало, что чисто силового и чисто моментная неуравновешенность при одинаковых по модулю центробежных неуравновешенных силах на фланцах круга вызывает одинаковое увеличение волнистости и шероховатости, при моментной неуравновешенности зафиксировано увеличение некруглости на 20%, при большем на 40% разбросе некруглости по длине детали.

В качестве критерия оценки действия моментной и силовой неуравновешенности на качество шлифования предложено использовать амплитуду колебаний торца круга со стороны выхода деталей из зоны резания.

4. Установлено, что на образование некруглости при шлифовании влияет соотношение чисел оборотов детали и шлифовального круга. Для практического использования предложена "Карта периодических погрешностей от взаимного обката детали и неуравновешенного круга", построенная для некруглостей с числом граней до 16. Карта дает возможность определять наладки, при которых возрастает влияние неуравновешенности на качество процесса шлифования, а также по виду некруглости отличать действие неуравновешенности от действия других факторов. В условиях эксперимента при изменении скорости вращения детали на 7% некруглость изме-

нялась в 5-6 раз, например, с 2 мкм до II мкм.

5. Экспериментально установлено, что для бесцентрового шлифования правка на 20-25% снижает действие неуравновешенности на некруглость. Рекомендуется производить уравнивание в конце периода стойкости шлифовального круга перед его правкой, причем для исследованных условий практически достаточно одного цикла "уравнивание-правка". В экспериментах с помощью уравнивания удалось уменьшить некруглость на 20%, а в сочетании уравнивания с правкой в 4-5 раз и достичь величины ее 0,25 мкм.

6. Для проектирования уравнивающих устройств с принудительным перемещением компенсирующих масс разработана методика их анализа по кинематическим признакам с учетом зависимости точности уравнивания от погрешностей положения компенсирующих масс.

7. Из условий обеспечения эксплуатационных требований, а также лучшей производительности станка СД 52I выбрана для моментно-силового уравнивания траектория движения общего центра компенсирующих масс по дугам окружности и отрезкам радиусов. Спроектированное устройство с двумя кинематически связанными грузами обладает промышленной полезностью и новизной конструктивных решений, что подтверждено выдачей положительного решения по заявке на изобретение.

8. Предложена методика расчета точности устройства на этапе его проектирования учитывающая погрешности от наличия зоны нечувствительности системы управления, от инерционного запаздывания в срабатывании самого устройства и управляющей системы.

9. В работе установлены особенности расчета конструкции уравнивающих устройств с учетом существования трех режимов работы, вызывающих экстремальные нагрузки в его элементах - при пуске устройства, при стационарной работе, при пуске шпинделя станка.

10. Ожидаемый экономический эффект от внедрения спроектированного устройства на Московском заводе автоматических линий составляет свыше 32 тыс. рублей в год, срок окупаемости дополнительных капиталовложений примерно 1 год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Порохня А.А. и др. "Уравновешивание кругов на холостом ходу шлифовального станка" Тезисы докладов У Всесоюзной научно-технической конференции по применению современных методов и средств уравновешивания машин и приборов. Москва, 1973г., стр. 29-30.

2. Горбунов Б.И., Гусев В.Г., Порохня А.А. "Бесцентровое шлифование с применением устройств, уравновешивающих вращающийся круг" Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей приборов и машин" Москва, 1973г., стр. 203-208.

3. Горбунов Б.И., Порохня А.А. "Точность устранения неуравновешенности шлифовальных кругов уравновешивающими устройствами с двумя грузами". Известия вузов. Машиностроение, 1974г., № 4, стр. 162-167.

4. Горбунов Б.И., Порохня А.А. "Влияние неуравновешенности шлифовального шпинделя на качество детали". Известия вузов. Машиностроение, 1974г., № 8, стр. 145-149.