

14302/35

НА ДОМ  
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

---

М о с к о в с к о е  
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее  
техническое училище имени Н.Э.Баумана

---

СИДОРОВ Вячеслав Михайлович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ АЛМАЗНОГО ХОНИГОВАНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Специальность 05.02.10 -  
Стандартизация и управление качеством продукции  
в станкостроении и автотракторном машиностроении.

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва, 1977 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

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

СИДОРОВ Вячеслав Михайлович

На правах рукописи

17302/135

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ АЛМАЗНОГО ХОНИГОВАНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Специальность 05.02.10 -  
Стандартизация и управление качеством продукции  
в станкостроении и автотракторном машиностроении.

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1302135

Сидоров В. М. Исследование

Москва, 1977 г.

Работа выполнена в Московском Высшем Техническом Училище  
им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель — кандидат технических наук,  
доцент Л.Н. Воронцов.

Официальные оппоненты —

доктор технических наук, проф. Волчкович Л.И.

кандидат технических наук Сафронов В.Г.

Ведущее предприятие — Автомобильный завод им. Ленинского  
Комсомола.

Защита диссертации состоится "28" декабря 1977г.  
на заседании специализированного Ученого Совета К-33/1  
по автоматизации в машиностроении МВТУ им. Н.Э. Баумана по ад-  
ресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская улица, дом 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.

Автореферат разослан "  "            1977г.

Ученый секретарь специализированного  
Совета

кандидат технических наук, доцент

Мельников Г.Н.

---

тип МВТУ Л79369 от 25.01.77г. тир. 100 экз. заказ 251.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

М В Т У  
им. Н. Э. Баумана  
БИБЛИОТЕКА

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Создание высокопроизводительных машин, соответствующих по своим технико-экономическим показателям передовым достижениям науки и техники, связано с неуклонным ростом требований к точности изготовления деталей машин. Одним из самых эффективных методов повышения технологической точности является управляемый контроль размеров, который особенно целесообразен на финишных операциях механической обработки. Алмазное хонингование, как операция размерной обработки, получило широкое распространение в массовом и крупносерийном производстве при обработке внутренних и наружных поверхностей по 5 + 7 квалитетам точности и высоких требованиях к их форме и шероховатости.

Применение управляющего контроля при хонинговании позволяет повысить точность и производительность процесса обработки на 50 – 200% в зависимости от конкретных условий. Однако, внедрение устройств управляющего контроля /УУК/ в настоящее время сдерживается недостаточным уровнем проектно-конструкторских и исследовательских работ в этом направлении.

Цель работы. Исследование и разработка методов повышения точности и производительности обработки при алмазном хонинговании гладких и прерывистых поверхностей с применением устройств управляющего контроля.

Методы исследований. При проведении анализа точности обработки с применением управляющего контроля, а также метрологических и конструктивных особенностей проектирования и расчета УУК широко использовались методы размерного анализа, теории вероятности, теории соприкасающихся поверхностей, методы математического моделирования с использованием ЭВМ. В экспериментальных исследованиях широко применялись методы теории оптимального планирования экспериментов.

Научная новизна. Разработаны методы расчета параметров УУК, основанных на измерении положения хонинговальных брусков, и оценки точности обработки с применением подобных устройств. Проведено теоретическое исследование различных способов коррекции уровня настройки. Исследованы возможности уменьшения влияния погрешности формы поперечного сечения обрабатываемых поверхностей при использовании рычажных головок

**УК.** В результате экспериментальных исследований были вскрыты новые закономерности влияния технологических факторов на точность обработки.

Теоретическое и экспериментальное исследование влияния объема припуска и погрешности формы с различными вариантами радиальной подачи брусков позволило предложить новую методику расчёта алгоритмов управления циклом работы хонинговального станка с применением УК. При этом теоретически обосновано и подтверждено экспериментально повышение производительности обработки при обеспечении требуемого уровня размерной точности и точности формы поверхностей деталей.

Практическая ценность. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований получены расчетные зависимости при определении параметров УК и оценки точности обработки, обеспечиваемой конкретным типом системы СПИД - УК. Разработанные алгоритмы управления циклом работы хонинговального станка, реализуемые с применением УК, позволяют повысить производительность обработки при обеспечении заданного уровня размерной точности и точности формы обрабатываемых поверхностей.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы при проектировании, внедрении и эксплуатации УК для алмазного хонингования гладких и прерывистых поверхностей. Новые виды УК были внедрены в массовом и крупносерийном производстве на операциях алмазного хонингования отверстий гильз двигателей и шлицевых отверстий стальных закаленных шестерен на Орловском заводе шестерен и других специализированных предприятиях тракторного и сельскохозяйственного машиностроения.

Получено три авторских свидетельства на новые виды УК. Разработанные рекомендации по применению УК вошли в РТМ 23.4.139-75 "Алмазное хонингование и суперфиниширование".

Экономический эффект от оснащения одного хонинговального станка разработанными средствами управляющего контроля составляет 5,0 тыс. руб.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на Iу-ой всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации процессов в машиностроении и приборостроении", Москва, 1975г., на I-ой Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование процессов фи-

нишной обработки в машиностроении", Минск, 1975 г., на научно-технической конференции "Прогрессивная технология машиностроения", Баку, 1976 г.

Публикация. По результатам выполненных исследований опубликовано 7 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 124 страницах машинописного текста и содержит введение, пять глав и общие выводы. Сопровождается 6-ю таблицами, 42 рисунками, библиографией из 108 наименований, 9 приложениями.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность и перспективность исследования и разработки методов повышения точности и производительности обработки при алмазном хонинговании гладких и прерывистых поверхностей с применением УУК.

В первой главе проведен анализ работ по исследованию технологического процесса с использованием УУК на хонинговальных станках. Показано, что получившие широкое распространение принципы конструирования, методы расчета и анализа точности УУК к станкам шлифовальной группы при применении к хонингованию требуют существенной переработки.

Особенности операции алмазного хонингования выдвигают ряд специальных требований к конструкциям УУК и методам их расчета. К числу наиболее важных условий, определяющих выбор типа и параметров УУК, следует отнести: вид и требования к обрабатываемой поверхности, большую загруженность рабочей зоны, поверхностный контакт хонинговальных брусков и детали, характер взаимного базирования инструмента и детали, кинематику процесса, особенности влияния режимов обработки и погрешностей формы детали.

Известные УУК могут эффективно применяться при обработке гладких поверхностей или поверхностей малой протяженности. Причем, основное внимание в исследованиях, близких к рассматриваемой проблеме, посвящено анализу точности самих УУК. Однако, УУК является частью технологической системы, и в этой связи представляется необходимым исследование влияния на точность обработки с его применением технологических факторов: режимов обработки, погрешностей формы продольного и попереч-

ного сечения заготовок. В значительной степени указанные факторы влияют при применении УУК, основанных на контроле положения хонинговальных брусков, теория расчета и проектирования которых практически была не разработана. Следует заметить, что для ряда поверхностей типа шлицевых отверстий шестерен, отверстий корпусов гидораспределителей, имеющих кольцевые выточки, применение других типов УУК без существенной переработки вообще невозможно.

В результате анализа систем управляющего контроля предложена классификация, позволявшая наряду с систематизацией существующих УУК наметить перспективные направления по их синтезу. Одним из наиболее важных является создание самонастраивающихся УУК, осуществляющих коррекцию своих параметров в направлении повышения точности обработки в зависимости от изменений как в самом УУК, так и в целом в системе СПИД.

Как следует из проведенного анализа, повышение эффективности операции связано с решением следующих задач :

- создание методов по синтезу и расчету УУК, основанных на контроле положения режущей поверхности хонинговальных брусков или деталей, кинематически с ними связанных ;
- разработка и исследование системы самонастройки к подобным устройствам ;
- исследование влияния основных технологических факторов на применение типовых УУК ;
- разработка методов и устройств для управления циклом работы хонинговального станка при комплексной оценке информации о размере и погрешности формы обрабатываемых поверхностей ;
- разработка и внедрение новых видов УУК и руководящих технических материалов в производство.

Во второй главе проведен анализ метрологических и конструктивных особенностей проектирования и расчета УУК при хонинговании.

Построенные технологические и измерительные цепи системы СПИД УУК, основанными на контроле положения хонинговальных брусков, позволили установить взаимосвязь конструктивных параметров системы и обрабатываемой поверхности. Дисперсия погрешности обработки от действия случайных отклонений

составляющих звеньев  $D[\sum_{i=1}^m \Delta X_i]$  технологической размерной цепи, являющихся следствием износа инструмента, силовых и тепловых деформаций, может быть определена выражением:

$$D[\sum_{i=1}^m \Delta X_i] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m K_{ij}, \quad /1/$$

где  $K_{ij}$  - корреляционный момент величин  $\Delta X_i \Delta X_j$ . Систематические составляющие отклонений звеньев компенсируются в цикле самонастройки по образцовому кольцу.

Анализ метрологических схем контактных головок УЗК показал, что за уровень настройки при обработке поверхностей с погрешностями формы в большинстве случаев целесообразно принимать средний диаметр. При хонинговании с известными УЗК обычно реализуется схема, когда выдача команды осуществляется при достижении уровня настройки предельным размером обрабатываемого отверстия. В этом случае величина погрешности формы / например, овальность / входит в рассеяние среднего диаметра, а удвоенная - в поле рассеяния диаметрального размера. При использовании в качестве измерительной головки непосредственно инструмента рассеяние среднего диаметра будет характеризоваться дополнительной погрешностью:

$$\delta D_{\text{ф}} = \frac{\Delta}{2} \cos 2 \left( \frac{\pi n - 2\pi}{2n} + \arcsin \frac{B}{D} \right) \quad /2/$$

Анализируя выражение 2, видим, что идеальной с точки зрения обеспечения точности среднего диаметра является четырехбрусковая хонинговальная головка с минимальной шириной брусков.

В результате действия на хонинговальные бруски переменных по величине и направлению усилий резания возможно их перемещение в пазах корпуса хонголовки. Минимальное значение овальности, при котором возможно радиальное перемещение брусков

$$\Delta_{\text{min}} = \frac{P_{\text{гг}} \cdot l \cdot \tan(\beta + \rho)}{K_{\text{с}} \cdot l_0 \cdot \tan(\beta - \rho)}. \quad /3/$$

Как показал расчет, на практике возможно лишь одностороннее движение конуса разжима, совпадающее с направлением радиальной подачи. Осевое усилие резания  $P_x$  может превосходить  $P_{\text{ос}}$ , поэтому возможно колебательное движение бруска в осевом направлении под действием возмущающей силы. При этом возникнет погрешность об-

работки :

$$\delta D = 0,5 K_{ипс} (\Delta z + \Delta g_k + \Delta g_k) \left[ \frac{1}{1 - d \left( n \frac{V}{100} \right)^2} \right]. \quad 14 /$$

Анализ различных способов коррекции уровня настройки показал, что при одностороннем смещении измерительной площадки вероятность нахождения погрешности самонастройки в заданном интервале может быть определена выражением :

$$P_n = \left\{ 1 - \left[ 1 - 0,5 P_g - \Phi(z-3) \right] \right\}^n \frac{\Phi(z-4,3)}{0,5 P_g + \Phi(z-3)} + \Phi(z-3) - \Phi(z-4,3),$$

Для часто встречающихся на практике условий разработаны таблицы для определения величины интервала погрешности самонастройки при заданной доверительной вероятности.

На основе проведенного анализа метрологических и конструктивных особенностей проектирования и расчета УУК сформулированы требования к конструкциям измерительных головок. В частности, при обработке высокоточных отверстий необходимо исключить влияние зазоров в шарнирах крепления хонинговальной головки и обеспечить минимальную несоосность линий измерения преобразователя и точек контакта воспринимающих элементов. Поэтому следует отдавать предпочтение, при прочих равных условиях, схеме обработки с плавающей деталью и жестко закрепленным инструментом. При использовании шарнирно закрепленного инструмента чувствительные элемент преобразователя следует закреплять непосредственно на конусе расширения хонинговальных брусков или диаметрально расположенных брусках. Реализуя эти положения, были разработаны новые средства управляющего контроля / а.с. № 502745, № 523788/.

Для уменьшения влияния погрешности формы поперечного сечения с применением УУК рычажного типа предложена новая конструкция / а.с. № 471999 /. Отличие головки от известных состоит в установке пары самоустанавливающихся дополнительных измерительных рычагов длиной  $l = \frac{\sqrt{2}}{2} D$ . Исследование параметров предложенной схемы УУК, проведенное методом математического моделирования на ЭВМ, позволило установить, что при обработке овальных отверстий составляющая погрешности среднего диаметра будет определяться выражением:

$$\delta D = \frac{\Delta}{0,485 D - 3,14}.$$

/6/

В третьей главе отражены результаты экспериментального исследования влияния режимов и погрешностей формы деталей на точность обработки с применением управляющего контроля. Разработана методика исследования, спроектированы и изготовлены стенды. Особенности последних являются: бесступенчатое изменение режимов обработки с регистрацией амплитудной и частотной характеристик параметров технологической системы СПИД - УУК; возможность моделирования условий обработки деталей с большим диапазоном величины погрешности формы.

Испытательные стенды были созданы на базе вертикально - хонинговального станка, оснащенного УУК новой конструкции /а.с. № 502'45 /. Во время испытаний обрабатывались чугунные и стальные закаленные втулки  $\phi$  68 мм и длиной 40 мм.

При постановке экспериментов был реализован центральный композиционный план второго порядка с обработкой результатов на ЭЦВМ БЭСМ-6. Это позволило при минимальном числе опытов получить адекватную математическую модель влияния режимов обработки  $\sqrt{V_{\text{окр.}} \cdot V_{\text{в-п}} \cdot P_{\text{уд.}}}$  на величину амплитуды сигнала на выходе измерительного преобразователя и погрешностей формы на величину смещения уровня настройки.

Эксперименты подтвердили результаты ранее проведенных теоретических исследований. Установлено, что влияние погрешности формы продольного и поперечного сечения обрабатываемых поверхностей проявляется через изменение величины усилий, действующих нормально к поверхности алмазных брусков. Увеличение усилия  $/P_d/$  и частоты его изменения  $/\dot{V}/$  приводит к смещению уровня настройки в сторону уменьшения диаметров обрабатываемых деталей. Указанный эффект может быть использован при проектировании и расчете механизмов коррекции уровня настройки адаптивных систем управляющего контроля.

В экспериментальном исследовании также проведена оценка погрешности самонастройки системы СПИД - УУК по образцу кольца. Предложен способ повышения точности самонастройки, состоящий в наложении вибраций на элементы хонинговальной головки во время ее расширения в образцовом кольце. В частности,

для исследуемой системы СПИД - УУК использование предложенного способа позволило уменьшить погрешность самонастройки с 0,012 до 0,009 мм.

В четвертой главе проведено теоретическое и экспериментальное исследование параметров процесса алмазного хонингования при управлении радиальной подачи хонинговальных брусков с применением УУК.

На основании анализа исследований и производственных данных показано, что при комплексном использовании информации о размере и погрешности формы обрабатываемых поверхностей создаются предпосылки для повышения производительности обработки. Для деталей в партии, имеющих относительно большую погрешность формы, целесообразно осуществление радиальной подачи брусков по упору, так как она обеспечивает повышенную интенсивность исправления погрешностей формы. Основная же масса деталей при этом должна обрабатываться при подаче с постоянным усилием прижима брусков к обрабатываемой поверхности /по давлению/.

Для определения параметров системы управляющего контроля, реализующей указанные предложения, были исследованы изменения в процессе обработки диаметрального съема и овальности при различных вариантах осуществления радиальной подачи брусков. Изменение диаметрального съема при подаче по упору может быть в общем случае представлено выражением:

$$Q = \frac{P_{\text{ном}}}{0,5 \cdot K_j} \left[ 1 - e^{-\frac{0,5 K_j (P_0 t - 0,5 \gamma_0 t^2)}{P_0}} \right], \quad /7/$$

где  $P_{\text{ном}}$  и  $P_0$  - соответственно номинальное и образцовое усилие прижима брусков,

$\beta_0$  и  $\gamma_0$  - коэффициенты, характеризующие режущую способность брусков.

Величина  $K_j$  при подаче по упору определяется через параметр хонголовки как:

$$K_j = \gamma_c - \frac{\gamma_c \tan(\beta + \rho) \cdot \tan \beta}{\gamma_{\text{уп}} + \gamma_c \tan(\beta + \rho) \cdot \tan \beta} \quad /8/$$

Изменение овальности  $\Delta$  при различных вариантах осуществления подачи определяется решением дифференциального уравнения:

$$d\Delta = - \frac{P_b - P_a}{P_0} (\rho_0 - \gamma_0 t) dt, \quad /9/$$

где  $P_a$  и  $P_b$  — усилия прижима брусков в направлении малой и большой оси обрабатываемого отверстия.

Теоретический анализ показал, что характер изменения овальности при подаче брусков по давлению и упору существенно не различается. Так, изменение овальности при непрерывном контакте брусков с обрабатываемой поверхностью в обоих случаях определяется выражением

$$\Delta = \Delta_{исх. е} - \frac{2K_c \gamma_0 (\rho_0 t - 0.5 \gamma_0 t^2)}{P_0} \quad /10/$$

Выведенные закономерности изменения  $Q$  и  $\Delta$  для различных условий обработки положены в основу методики расчета граничного и адаптивного алгоритмов управления циклом работы хонинговального станка. В частности, значение исходной овальности  $\Delta_{исх.кр.}$  при котором целесообразен переход к обработке с подачей по упору может быть определено как

$$\Delta_{исх.кр.} = \Delta_{к.пр. е} + \frac{2K_c \gamma_0 (\rho_0 T_{нм} - 0.5 \gamma_0 T_{нм}^2)}{P_0} \quad /11/$$

где  $\Delta_{к.пр.}$  — предписанное значение овальности деталей.

$$T_{нм.} = \frac{\rho_0}{\gamma_0} - \sqrt{\frac{\rho_0^2}{\gamma_0^2} - 2 \frac{P_0 \Pi}{P_{ном.} \gamma_0}}, \quad /12/$$

где  $\Pi$  — величина припуска, определяемого согласно выражения /7/ при времени обработки, зависящем от значений исходной и предписанной овальности и, связанных выражением /10/.

Получено экспериментальное подтверждение основных аналитических зависимостей, установленных в результате теорети-

ческого исследования.

Расчетное повышение производительности обработки с применением УУК, реализующего предложенный граничный алгоритм управления, по сравнению с обычной обработкой при подаче по давлению для принятых условий экспериментального исследования составляет 35%.

В пятой главе представлены результаты производственных испытаний и внедрения разработанных средств управления точностью при алмазном хонинговании.

УУК, основанное на измерении положения штока гидроцилиндра разжима хонинговальной трусов относительно корпуса хонинговальной головки, прошло производственные испытания при обработке отверстий закаленных чугунных гильз двигателя ДТ-54 / диаметр отверстия  $\phi 126,01$  , длина 294 мм / на Новороссийском заводе "Красный двигатель" и гильз ЯМЗ-236-1002021  $\phi 129,96^{+0,03}$  мм на Алма-Атинском литейно - механическом заводе.

В результате производственных испытаний установлено :

- точность обработки с применением УУК на операции предварительного хонингования отвечает требованиям, определенным технологическим процессом изготовления гильз цилиндров. При этом обеспечивается повышение коэффициента запаса технологической точности на операции до 2 ;

- применение УУК исключает брак на операции предварительного хонингования, который составляет 0,63% от выпуска при обработке гильз ЯМЗ-236-1002021 и 0,15% - при обработке гильз двигателя ДТ-54;

- создаются предпосылки для перехода к многостаночному обслуживанию ;

- достигается увеличение производительности обработки за счет сокращения вспомогательного времени на повторную загрузку - выгрузку и измерение деталей, машинного времени - при более рациональном перераспределении припуска на операциях, исключения времени на обработку бракованных деталей.

По результатам производственных испытаний УУК внедрено в производство на обоих заводах.

Сравнительные производственные испытания данного устройства и пневматического бесконтактного УУК конструкции завода им. Ленина г. Стерлитамак и фирмы „Nageel“ /ФРГ/ показали высокую точностную надёжность разработанного УУК.

Другое УУК, отличающееся от вышеприведённого установкой чувствительных элементов измерительного преобразователя непосредственно на конусе расширения и корпусе хонинговальной головки, внедрено на Орловском заводе шестерён. С его применением обрабатывались шлицевые отверстия  $\phi 68$  А<sub>3</sub> закалённых шестерён М7 из стали 20ХГНР с твёрдостью НРС 56 + 63. Допуск на операцию хонингования составлял  $T = 0,06$  мм. Величина поля рассеяния диаметрального размера при обработке с применением УУК составила 0,04 мм. Установлено, что производительность с применением управляющего контроля выше, чем при обычной обработке. Приведённый расчёт экономической эффективности подтвердил целесообразность внедрения управляющего контроля при хонинговании.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ литературных и производственных данных показал, что при алмазном хонинговании имеются предпосылки для эффективного использования средств управляющего контроля.

2. Проведённый анализ размерных цепей систем СПИД с УУК, основанными на измерении положения узлов, кинематически связанных с хонинговальными брусками, выявил взаимосвязь конструктивных параметров технологической системы с параметрами обрабатываемой поверхности. Установлены аналитические зависимости определения настроечных размеров и точностных характеристик технологического процесса.

3. В результате анализа особенностей проектирования средств и методов коррекции уровня настройки УУК предложена методика расчёта основных конструктивных элементов механизма самонастройки по образцовому кольцу.

4. Изменение относительного положения воспринимающих элементов системы СПИД - УУК, их тепловые и силовые деформации вследствие вариации режимов обработки и характеристик обрабатываемых деталей приводят к дополнительной погрешности. Для её расчёта приведены аналитические зависимости, которые также могут быть использованы при проектировании адаптивных средств на-

ройки по возмущающему воздействию.

5. На основании теоретических выводов и производственных данных по выбору параметров УУК, основанных на измерениях положения хонинговальных брусков, разработаны рекомендации для их совершенствования. Предложены новые средства управляющего контроля /в.с. № 502745, № 523788/, позволяющие повысить качество обработки.

6. Для уменьшения влияния погрешностей формы поперечного сечения деталей на точность обработки с применением УУК рычажного типа разработана принципиально новая конструкция /в.с. № 471 999/. Теоретическое исследование параметров метрологической схемы, осуществлённое методом математического моделирования на ЭВМ, позволило получить аналитическую зависимость по расчёту погрешности обработки и конструктивных параметров УУК с учётом погрешностей формы поперечного сечения заготовок. Получено экспериментальное подтверждение возможности использования предложенной схемы для автоматического контроля.

7. Новые методики и стенды позволяют выявить влияние режимов обработки и погрешностей формы поверхностей деталей на точность технологического процесса с применением УУК. Особенность этих стендов состоит в том, что используется: а/ широкое бесступенчатое изменение режимов обработки /  $R_{уд.}$ ,  $\sqrt{\text{окр.}}$ ,  $\sqrt{\text{в-п}}$  с регистрацией амплитудно-частотных характеристик как параметров системы СПИД, так и УУК; б/ возможность моделирования условий обработки деталей с широким диапазоном величины и видов погрешностей формы.

При проведении экспериментов было использовано ротatable-ное, центральное, композиционное униформ-планирование, позволяющее при минимальном числе опытов получить достоверную математическую модель совместного влияния исследуемых факторов на точность обработки.

8. В результате экспериментального исследования подтверждены расчетные зависимости, полученные теоретическим путём для определения динамической амплитуды колебания выходного сигнала измерительного преобразователя, что позволяет их использовать при проектном расчёте точности обработки.

9. При моделировании на стенде условий обработки деталей с погрешностью формы установлено, что уровень настройки УУК смещается в сторону уменьшения обрабатываемого размера. Для рас-

чета величины смещения при различной частоте и уровне возмущающего усилия дана зависимость, позволяющая количественно оценить величину погрешности обработки в широком диапазоне изменения формы детали.

Ю. В результате теоретического исследования съема припуска и изменения овальности цилиндрических поверхностей при радиальной подаче брусков с постоянным и переменным усилием установлены зависимости указанных параметров во времени при непрерывном и прерывистом контакте брусков с деталью. Анализ полученных выражений, а также ранее проведенных исследований показал возможность повышения производительности обработки при обеспечении требуемого уровня качества обрабатываемых поверхностей путем управления радиальной подачей брусков в зависимости от исходной погрешности формы заготовок.

II. Граничный алгоритм управления циклом работы хонинговального станка, разработанный на основе проведенного теоретического исследования, может быть реализован при использовании в качестве измерителя УЖ обычных пневматических бесконтактных головок. Дана методика расчета адаптивного алгоритма управления и показаны пути его реализации. Испытания, проведенные на специально спроектированной технологической оснастке, подтвердили основные теоретические закономерности съема припуска и уменьшения овальности обрабатываемых поверхностей чугунных деталей.

12. Расчетное повышение производительности обработки для условий проведения эксперимента при использовании УЖ, реализующего разработанный граничный алгоритм управления, составляет 35% по сравнению с обычной обработкой при радиальной подаче брусков по давлению.

13. Промышленные образцы новых УЖ, основанных на измерении положения хонинговальных брусков, внедрены в производство на Новороссийском заводе "Красный двигатель", Алма-Атинском литейно-механическом заводе, Орловском заводе шестерен. Применение УЖ позволило повысить точность и производительность обработки на операциях предварительного и окончательного хонингования отверстий гильз двигателей и шестерен.

Экономический эффект от оснащения одного хонинговального станка разработанными средствами управляющего контроля составляет 5,0 тыс. руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах :

1. Воронцов Л.Н., Сидоров В.М. и др. Вопросы точности управляющих и самонастраивающихся устройств. Тезисы докладов IV-ой Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации процессов в машиностроении и приборостроении", М., 1975.

2. Фрагин И.Е., Сидоров В.М. Хонинговальная головка. Авторское свидетельство № 502745. Бюллетень изобретений №6, 1975.

3. Сидоров В.М., Яровой П.П. Прибор активного контроля цилиндрических деталей. Авторское свидетельство № 471 999. Бюллетень изобретений № 20, 1975.

4. Воронцов Л.Н., Сидоров В.М., Шорников А.А. Разработка и исследование самонастраивающихся средств управляющего контроля при алмазно-абразивной обработке. Тезисы докладов I-ой Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование процессов финишной обработки в машиностроении", Минск, 1975.

5. Сидоров В.М., Фрагин И.Е., Пини Б.Е., Гейлер З.Ш. Хонинговальная головка. Авторское свидетельство № 523788. Бюллетень изобретений от 6.08.76 г. № 29.

6. Сидоров В.М. Исследование параметров системы управляющего контроля формой обрабатываемых поверхностей при алмазном хонинговании. Статья депонирована НИИМАШ № 46-76 от 16.07.76г.

7. Воронцов Л.Н., Сидоров В.М. Управление технологическими процессами механообработки с применением средств активного контроля. Тезисы докладов научно-технической конференции "Прогрессивная технология машиностроения", Баку, 1976.