

М 244077

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

ШОРНИКОВ Аркадий Александрович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В
УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КРУГЛО - И
ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

/ 05.11.15 - Метрология и взаимозаменяемость /

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент Воронцов Л.Н.

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук Корсаков В.С.
/МВТУ им Н.Э.Баумана/

кандидат технических наук, доцент Добрынин Е.М.
/МАИ/

Ведущее предприятие: I Государственный подшипниковый завод

Автореферат разослан

" "

1975 г.

на заседании диссертационного совета

" "

1975 г.

на заседании факультета АХТ и механизации произ-
водства в МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: М., 107005, 2-я

Бауманская ул., д. 15, МВТУ им. Н.Э.Ба-

уминского техникума
в двух экземплярах по

ад-

по

М 244047

Степанов Ю.А.

№ 90837 от 25.III.75 г.

Решение задачи всемерного улучшения качества выпускаемой продукции, поставленной в директивах XXIV съезда КПСС, требует дальнейшего развития метрологии, постоянного совершенствования техники измерений. В машиностроении качество выпускаемых изделий определяется точностью изготовления деталей, из которых собираются изделия. Особенно важно обеспечить точность получения размеров деталей на финишных операциях обработки, где все более широкое применение в массовом и крупносерийном производстве находят средства активного контроля. Выполнение устройствами активного контроля помимо функции контроля деталей еще и функции управления технологическим процессом обработки предъявляет к ним повышенные точностные требования. Однако воздействие на устройства различного рода возмущений, в том числе динамического характера, вызванных жесткими условиями работы устройств в непосредственной близости к зоне обработки, значительно увеличивает их погрешности и снижает точность получения заданных размеров деталей на станках. Настоящая работа посвящена изучению влияния вибраций технологической системы станка на точность устройств управляющего /активного/ контроля /УУК/.

Основная цель исследования заключалась в разработке предложений по уменьшению влияния вибраций технологической системы станка на точность устройств управляющего контроля. Для достижения этой цели необходимо было предварительно выявить основные формы проявления динамических погрешностей, вызванных вибрацией технологической системы станка и определить условия существования этих погрешностей, выявить основные факторы, влияющие на точность устройств управляющего контроля, установить зависимости погрешностей от параметров возмущения и от конструктивных особенностей различных типов устройств и т.д.

При проведении анализа воздействия вибраций технологической системы станка на точность УУК и определения зависимостей составляющих погрешностей контроля от параметров, оказывающих влияние на точностные характеристики УУК, применялись аналитические методы исследований. Существование виброударного режима работы воспринимающих элементов /ВЭ/, контактирующих с контролируемой деталью, подтверждено в результате проведения экспериментов на вибростендах. Экспериментальные методы исследования применялись также при определении влияния измерительного усилия на погрешность УУК, смещения уровня настройки УУК под влиянием ви-

M 274077

браций измерительной головки.

В работе впервые анализируются различные режимы работы ВЭ УУК при отрыве их от контролируемой поверхности детали и определяются условия существования и устойчивости этих режимов, разрабатывается теория виброударных систем применительно к упругим системам УУК с учетом особенностей этих систем. Динамическое воздействие вибраций технологической системы станка на измерительную головку УУК рассматривается с учетом полигармонического характера вибраций узлов станка, описываемого спектром колебаний различных частот и амплитуд. В работе впервые приводятся зависимости для определения погрешностей, вызванных вибросмещением детали, ВЭ УУК, силовой деформацией ВЭ, контактной деформацией измерительных наконечников и детали в зоне их соприкосновения.

На основе проведенного анализа влияния вибраций станка на точность УУК были намечены новые направления по повышению точностных характеристик УУК: стабилизация уровня настройки УУК, положение которого непрерывно меняется от динамического воздействия вибраций станка, неизменно сопровождающих процесс контроля деталей с помощью УУК, и оптимизация момента выдачи УУК команды на прекращение обработки деталей. Для второго, в ряде случаев более экономичного способа повышения точности УУК, разработаны структурные схемы его конструктивной реализации в устройствах, использующих прямой и косвенный метод контроля. Предложенный способ был реализован на базовом устройстве мод. АК-3М и прошел производственные испытания при обработке партии деталей типа "палец" $\varnothing 28,5_{-0,2}$ на станке мод. ЗБИ61. Результаты испытания устройства показали эффективность применения предложенного способа: рассеивание размеров в партии обработанных деталей уменьшилось в среднем на 24%.

Представленная работа изложена в 5 главах с приложениями на 187 страницах, имеет 49 рисунков и 5 таблиц.

В первой главе анализируются спектры частот и амплитуд колебаний узлов различных моделей кругло- и внутришлифовальных станков, на которых возможно применение УУК. В результате обобщения данных по экспериментальным работам, в которых определялись параметры вибраций станков этих групп, получен спектр колебаний станков, определяющий условия работы УУК. Полный спектр приводящих колебаний УУК практически ограничен частотой

1000 гц, а амплитуды колебаний на отдельных частотах достигают 30 мкм. В этой главе сделан обзор исследований по динамической точности УУК. Действие вибраций технологической системы станка на точность УУК рассматривается дифференцированно. Более подробно изучен механизм воздействия вибраций ВЗ УУК, причиной возникновения которых являются погрешности расположения и формы контролируемой поверхности. Вибрации, вызванные колебаниями узлов станка и детали, соседнего оборудования и автоколебания при шлифовании представлены в расчетах погрешностей УУК как моногармонические. Динамические погрешности ВЗ рассмотрены комплексно, без дифференциации их на составляющие, соответствующие различным формам проявления, в работах отсутствуют аналитические зависимости погрешностей УУК, вызванных силовой деформацией ВЗ, а также вибросмещением контролируемой детали и головки УУК. В заключении главы формулируются основные задачи предстоящих исследований: классификация погрешностей УУК, вызванных вибрацией технологической системы станка и проведение типизации УУК, разработка единой методики расчета динамических погрешностей для наиболее распространенных типов УУК, разработка рекомендаций по уменьшению влияния вибраций станка на точностные характеристики УУК.

Во второй главе определяется характер колебаний элементов технологической системы станка. Шлифовальный станок имеет несколько источников возбуждения колебаний; основными источниками колебаний в зоне резания являются дебаланс градающих масс и, главным образом, дебаланс шлифовального круга, шпинделя шлифовальной бабки, шпинделя изделия. В этом случае колебания узлов станка и детали являются полигармоническими. Суммарное перемещение любого узла станка /например, узла крепления измерительной головки УУК/ представляет собой периодическое или почти периодическое циркуляционное движение, а проекция этого перемещения на координатные оси является результатом сложения несинхронных коллинеарных гармонических колебаний, число которых равно количеству источников возбуждения колебаний в станке. При определении таких параметров суммарного возмущения /вибросмещения, виброскорости, виброускорения/ через параметры слагаемых возмущения применение вероятностных методов расчета дает преимущество перед методом максимума и минимума при числе слагаемых, равном или более 5, а распределение параметров суммарного

возмущения с ростом числа источников колебаний технологической системы станка быстро приближается к кривой нормального распределения, несмотря на то, что каждое слагаемое возмущение представляет тригонометрическую функцию от случайного аргумента - фазы колебания и законы распределения её значений отличаются от нормального. Составляющие суммарного возмущения, в соответствии с их параметрами, относятся к малым формам колебаний, что обеспечивает достаточную линейность колебательных систем элементов измерительной головки УУК.

Третья глава посвящена анализу возникновения погрешностей контроля с применением УУК. Колебания элементов станка и его технологической системы оказывают влияние на элементы измерительной цепи УУК и, прежде всего, на ВЭ, контактирующие с обрабатываемой деталью и расположенные ближе других элементов измерительной цепи к зоне обработки детали и, следовательно, в зоне возникновения основных колебаний технологической системы станка. Помимо приходящих колебаний, передающихся на ВЭ УУК через деталь и узел крепления корпуса головки на станке, возникают фрикционные колебания ВЭ в результате их трения о контролируемую поверхность детали. В зависимости от форм проявления следует различать погрешности, вызванные выбросом детали и ВЭ УУК $\Delta_{\text{пер}}$, силовой деформацией этих элементов $\Delta_{\text{деф}}$ и отрывом их от контролируемой поверхности детали $\Delta_{\text{отр}}$. Превышение параметров динамического возмущения /амплитуды, частоты/ критических значений вызывает периодический отрыв ВЭ от детали и переход от докритического к послекритическому режиму работы. Каждый режим работы ВЭ характеризуется определенной совокупностью ранее классифицированных погрешностей УУК.

Большое многообразие измерительных головок УУК приводит к различию в величинах погрешностей отдельных устройств под действием возмущений с одинаковыми параметрами. В работе проведена классификация ВЭ по конструктивным признакам и выделены 6 наиболее распространенных в конструкциях УУК типов ВЭ. Типы одноконтатных УУК, имеющих по одному ВЭ, соответствуют типам применяемых элементов. Многообразие двух- и трехконтатных УУК создается сочетанием одинаковых или различных типов ВЭ.

Вибрации элементов технологической системы станка передаются на ВЭ УУК через кинематические пары, образованные контролируемой деталью и корпусом головки с ВЭ, в направлении связей в

парах. От детали вибрации передаются на ВЭ только по направлению линии измерения, а от корпуса головки - в зависимости от видов движения ВЭ: при поступательном движении /безрычажные типы элементов/ перемещение узла крепления головки передается на ВЭ в плоскости измерения перпендикулярно линии измерения, а при вращательном /рычажные элементы/ - в плоскости измерения по линии измерения и перпендикулярно ей. Кинематические пары, образованные контролируемой деталью и ВЭ головки, являются незамкнутыми, что приводит к образованию разрывов в этих парах при параметрах возмущения, превышающих критические, и к возникновению погрешности от отрыва ВЭ $\Delta_{отр}$.

В докритическом режиме работы ВЭ представляют собой линейные колебательные системы с распределенными /для стержневых элементов/ или сосредоточенными /для корпусных элементов/ массами, совершающие вынужденные колебания под действием кинематического возбуждения полигармонического характера, вносимого колебаниями детали или корпуса головки УУК. Дискретизация таких систем приводит к их преобразованию в системы с одной /для элементов с сосредоточенной массой/ или с некоторым конечным числом степеней свободы. Периодическое изменение линейного или углового размеров ВЭ в результате их колебаний в направлении линии передачи измерительного сигнала являются причиной возникновения погрешности от деформации ВЭ УУК $\Delta_{дв}$. Из всех применяемых в УУК типов ВЭ только безрычажные элементы с распределенной массой совершают продольные колебания. Колебания остальных типов ВЭ являются изгибными.

В послекритическом режиме работы ВЭ УУК, прижатые к детали упругими элементами, создающими измерительное усилие, отрываются и вновь соударяются с деталью. Благодаря упругим свойствам материала наконечника и детали происходит отскок наконечника от детали, оказывающий влияние на закон перемещения ВЭ после соударения. Таким образом колебательная система измерительной головки УУК в послекритическом режиме представляет собой виброударную кусочно-линейную систему, точное решение которой определяется методом "припасовывания". Закон перемещения наконечника относительно его положения при соударении выражается через амплитуду возмущения A , частоту возмущения ω , собственную частоту колебаний наконечника относительно корпуса УУК ω_0 , коэффициент восстановления при ударе R , коэффициент кратнос-

ти режима ℓ , величину предварительного натяжения S упругих элементов, создающих измерительное усилие и время t .

Особенность работы упругой системы УУК в условиях вибраций станка состоит в стабильности силового воздействия упругих элементов на измерительный наконечник в результате малых отклонений в положении элементов системы. Пренебрегая колебаниями позиционных сил в системе, величина которых для реальных систем УУК не превышает 2% от измерительного усилия, можно все многообразие динамических моделей УУК привести к одностепенной /для одноконтанных УУК/ и к двухмассовой системам, состоящим из приведенных масс m ВЭ, прижатых постоянной измерительной силой P , к вибрирующей поверхности. Закон перемещения каждой такой массы системы после соударения имеет вид:

$$x = -\frac{\lambda g t^2}{2} + \frac{\pi \ell \lambda g}{\omega} t + A \sqrt{1 - \frac{\pi^2 \ell^2 (1-R)^2}{K^2 (1+R)}}, \quad /1/$$

где λ - коэффициент критического ускорения ВЭ

$$\lambda = \frac{P}{Q}, \quad /2/$$

Q - вес приведенной массы ВЭ,

K - коэффициент режима вибрации, равный отношению максимального значения ускорения ВЭ при его вибросмещении к величине ускорения, необходимого для отрыва ВЭ от детали.

$$K = \frac{A \omega^2}{\lambda g}. \quad /3/$$

Возможность отрыва массы ВЭ от детали определяется параметрами системы УУК $/P, Q/$ и параметрами возмущения $/A, \omega/$ и выражается условием

$$K \geq 1, \quad /4/$$

а существование и устойчивость ударных режимов зависит ещё и от коэффициента восстановления R при ударе ВЭ о деталь т.е. от упругих свойств соударяющихся тел

$$K \geq \pi \ell \frac{1-R}{1+R}. \quad /5/$$

Для $\ell = 1$ и $R = 0,55$ /материал детали и воспринимающего элемента - сталь/

$$K \geq 0,915 \quad /6/$$

Анализируя неравенства /4/ и /6/ приходим к выводу, что существование виброударного режима возможно даже при несоблюдении условий отрыва ВЭ от детали, когда параметры вибрации детали

ещё не достигли критических значений. В этом случае любое случайное возмущение может стать причиной перехода упругой системы измерительной головки УУК от режима непрерывного контакта нако-
нечника ВЭ с деталью к виброударному режиму.

В четвёртой главе установлены зависимости для различных форм проявления динамических погрешностей, вызванных ви-
брациями технологической системы станка, а также рассмотрено влияние этих вибраций на точностную надёжность УУК и положение его уровня срабатывания.

Общая зависимость погрешности от вибросмещения детали и кор-
пуса головки УУК имеет вид

$$\Delta_{\text{пер}} = (\Delta_{\text{ny}} + \Delta_{\text{nz}})(K_1 - K_2) + (\delta_{\text{ny}} + \delta_{\text{nz}})(K_1 + K_2), \quad /7/$$

где Δ_{ny} и Δ_{nz} - текущие значения относительного смещения детали
и корпуса УУК по координатным осям станка Y и Z,

δ_{ny} и δ_{nz} - изменение в относительном положении детали и на-
конечника ВЭ при смещении последнего с линии измерения в направле-
нии осей Y и Z,

K_1 и K_2 - передаточные отношения ВЭ.

Погрешность $\Delta_{\text{деф}}$, возникающая от силовой деформации элемен-
тов измерительной цепи УУК разделена на две составляющие: по-
грешность $\Delta_{\text{дв}}$ от деформации ВЭ и погрешность $\Delta_{\text{дк}}$ от контактной
деформации наконечника ВЭ и детали в зоне их соприкосновения.
Для безрычажных элементов с распределённой массой, совершающих
продольные колебания, погрешность от деформации ВЭ запишется
уравнением

$$\Delta_{\text{дв}} = \frac{q l}{2 q E F_{\text{пр}}} W_{\text{дз}}, \quad /8/$$

где $F_{\text{пр}}$ - приведенная площадь поперечного сечения /для ступен-
чатых стержней/,

$W_{\text{дз}}$ - текущее значение ускорения детали по направлению линии
измерения /оси Z /,

l - длина измерительного стержня.

Для остальных типов ВЭ

$$\Delta_{\text{дв}} = \frac{q l^3}{2 E J} \beta \sum \alpha_i W_i, \quad /9/$$

где α_i - коэффициенты влияния /в работе они подсчитаны для
всех типов ВЭ, охваченных классификацией/,

W_i - текущее ускорение от различных источников кинемати-
ческого возбуждения ВЭ УУК.

В послекритическом режиме работы ВЭ погрешность деформации также присутствует, но является величиной постоянной, зависящей только от параметров системы. Погрешность $\Delta \delta_k$ от контактной деформации ВЭ и детали выражается уравнениями:

а/ для одноконтантных УУК

$$\Delta \delta_k = \sqrt[3]{\frac{2 \sum \beta_i W_i}{3 \lambda q}} - \frac{1}{9} \left(\frac{\sum \beta_i W_i}{\lambda q} \right)^2 \quad /10/$$

б/ для двух- и трехконтантных УУК

$$\Delta \delta_k = \frac{2}{9} \sqrt[3]{\frac{\sum \beta_i W_i}{\lambda q}} \quad /11/$$

Погрешность $\Delta \sigma_{\text{отр}}$, вызванная отрывом ВЭ от детали, определяется через параметры виброударного режима: размах колебаний ВЭ ϵ , соударяющегося с деталью, положение динамического равновесия ВЭ в послекритическом режиме δ и начальное отклонение элемента x_0 /в момент соударения/ относительно его статического равновесия. Для приведенных систем, не учитывающих колебания позиционных сил, значения параметров режима выражаются формулами

$$\epsilon = A \frac{\pi^2 \ell^2}{2K} \quad /12/$$

$$\delta = A \left[\frac{\pi^2 \ell^2}{3K} + \sqrt{1 - \frac{\pi^2 \ell^2}{K^2} \left(\frac{1-R}{1+R} \right)^2} \right] \quad /13/$$

$$x_0 = A \sqrt{1 - \frac{\pi^2 \ell^2}{K^2} \left(\frac{1-R}{1+R} \right)^2} \quad /14/$$

Все УУК по степени инерционности блоков занимают определенное для данной частоты возмущения ω место в ряду устройств, ограниченном с одной стороны устройствами "мгновенного" действия, которые выдают выходной сигнал одновременно с входным и без искажения по амплитуде, и с другой стороны "инерционными" устройствами, которые в силу инерционности блоков преобразуют гармонический сигнал на входе в постоянный на выходе. Погрешность для устройств "мгновенного" действия является величиной переменной, изменяющейся в диапазоне от x_0 до λ , где

$$\Delta = \epsilon + x_0 = A \left[\frac{\pi^2 \ell^2}{2K} + \sqrt{1 - \frac{\pi^2 \ell^2}{K^2} \left(\frac{1-R}{1+R} \right)^2} \right] \quad /15/$$

Для "инерционных" устройств погрешность, вызванная отрывом ВЭ, является при установившемся режиме возмущения постоянной величиной

$$\Delta \sigma_{\text{отр}} = \delta = A \left[\frac{\pi^2 \ell^2}{3K} + \sqrt{1 - \frac{\pi^2 \ell^2}{K^2} \left(\frac{1-R}{1+R} \right)^2} \right] \quad /16/$$

Для двух- и трехконтактных УУК "инерционного" типа

$$\Delta_{\text{отр}} = \delta_1 + \delta_2, \quad /17/$$

а для УУК "мгновенного" типа диапазон рассеивания значений определяется расчетом виброударных режимов работы ВЭ при конкретных параметрах системы и возмущения.

В работе представлены кривые зависимостей параметров виброударного режима, являющиеся составляющими погрешности $\Delta_{\text{отр}}$ от параметров возмущения и произведен расчет номограммы для определения этой погрешности через параметры возмущения $/A, \omega/$ и параметры системы $/P, Q/$ при $R = 0,55$

Практическое подтверждение существования виброударного режима работы ВЭ УУК получено на специальном стенде, разработанном на базе вибростенда ВЭДС - 10А и измерительной головки УУК мод. АК-3М. С помощью тензопреобразователей, наклеенных на плоский упругий элемент подвески измерительного наконечника и дополнительный упругий элемент, закрепленный одним концом на корпусе головки, а другим - на платформе вибростенда, записывались отдельно перемещения наконечника и платформы вибростенда, имитирующей контролируемую деталь, при колебаниях платформы на частотах 400, 500 и 600 гц при ускорении $8g$. На этом стенде определялось также влияние измерительного усилия на основную составляющую ε /размах колебаний наконечника/.

Действие всех форм проявления погрешностей на УУК вызывает непрерывное отклонение уровня настройки УУК при работе в условиях вибраций технологической системы станка от его положения в статических условиях работы, соответствующих условиям настройки УУК по образцовой детали, причем изменение положения этого уровня происходит по полигармоническому закону и представляет случайную функцию. Применяя теорию выбросов в работе получены зависимости для оценки основных показателей надежности настройки: коэффициента надежности по настройке устройства $K_{Т.н.}$, вероятности $P(t_z)$ и среднего времени $T_{ср}$ работы УУК без отказов настройки.

При непрерывном изменении уровня настройки УУК на положение уровня срабатывания УУК определенным образом влияет время срабатывания УУК, т.е. минимальное время подачи сигнала, необходимое для срабатывания триггерно-релейного блока УУК. Так, например, при моногармоническом возмущении смещение уровня срабатывания

УУК относительно его положения в статическом режиме /при настройке УУК/ выражается уравнениями

$$\Delta x_n = A_{\text{вых}} \cos \frac{\omega t_{\text{ср}}}{2} \quad \text{при } 0 \leq t_{\text{ср}} \leq \frac{2\pi}{\omega}, \quad /18/$$

$$\Delta x_n = -A_{\text{вых}} \quad \text{при } t > \frac{2\pi}{\omega}, \quad /19/$$

где $A_{\text{вых}}$ и ω - амплитуда и частота выходного сигнала,

$t_{\text{ср}}$ - время срабатывания УУК.

Смещение уровня срабатывания УУК мод. БВ - 4093 при вибрации корпуса измерительной головки наблюдалось на вибростенде мод. ВЭДС-200. Величина смещения уровня срабатывания УУК определялась с помощью клинового устройства БВ - 981А с применением миллисекундомера МС-1 и электронного реле Е-524Т. Платформе вибростенда задавались вибрации с частотой 25, 30, 35, 40, 45, 50 и 55 гц и амплитудой 30, 60, 100 и 150 мкм на каждой частоте. Для выбранного ряда частот это смещение оказалось отрицательным.

В пятой главе намечены основные направления по уменьшению погрешностей УУК, вызванных вибрацией технологической системы станка. Анализ воздействия вибраций станка на УУК, проведенный в предыдущих главах работы, позволил раскрыть механизм этого воздействия и установить степень влияния параметров возмущения и параметров упругой системы УУК на динамические погрешности устройств, вызванные вибрацией технологической системы станка. На основании этого анализа намечены основные пути повышения точности контроля деталей с применением УУК в условиях вибраций станка:

1. Изменение параметров возмущения. С уменьшением вибрации узлов станка /виброизоляция станка, балансировка вращающихся масс/ точность работы УУК несомненно будет повышаться. Но полностью погасить колебания элементов технологической системы станка пока не удастся. В этом случае необходимо максимально уменьшать степень влияния существующих в реальных условиях колебаний узлов станка на точность УУК.

2. Изменение параметров упругой системы УУК. Основные рекомендации в этом направлении были сделаны в предыдущих исследованиях и заключались в уменьшении массы ВЭ УУК и увеличении жесткости упругих элементов, т.е. увеличении измерительного усилия. Уменьшение динамических погрешностей УУК при реализации

этих мероприятий сопровождается некоторым увеличением погрешностей, обусловленных износом наконечников и деформацией ВЭ УУК.

3. Адаптация УУК к условиям работы на станке. Дрейф уровня настройки УУК под действием вибраций технологической системы станка относительно положения уровня в условиях: настройки УУК по образцовой детали приводит к возникновению погрешностей УУК. Возможны два основных направления уменьшения этих погрешностей:

а/ стабилизация уровня настройки УУК в условиях вибраций станка. Учитывая, что основные по величине погрешности, особенно двух- и трехконтактных УУК, связаны с действием инерционных сил и, следовательно, с изменением усилия прижима ВЭ к детали, реализация этого направления заключается в создании системы автоматического регулирования усилия прижима ВЭ к детали,

б/ оптимизация момента выдачи УУК команды на прекращение обработки деталей. Оптимальным, в данном случае, является момент пересечения динамического и статистического уровней настройки УУК, ближайший после достижения размером обрабатываемой детали динамического уровня настройки УУК. Для реализации этого направления существующая конструкция УУК оснащается дополнительной цепью деформации ВЭ, блокирующей цепь передачи измерительного сигнала от преобразователя к триггерно-релейному блоку и пропускающей этот сигнал только в моменты равенства статической /под действием измерительного усилия/ и динамической деформации ВЭ. Реализация последнего направления на базовом устройстве мод. АК-3М позволило уменьшить рассеивание партии деталей, обработанных на станке ЗБИ61 на 24%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определен общий спектр и выявлен полигармонический характер колебаний узлов кругло- и внутришлифовальных станков, что позволило установить диапазоны возможных параметров кинематического возбуждения элементов УУК при работе на станке. Учитывая малые формы колебаний элементов технологической системы станка сделано заключение о линейности систем, образованных элементами УУК и возможности применения принципа суперпозиции при сложении колебаний этих элементов под действием отдельных гармонических составляющих спектра возмущения.

2. Предложена классификация динамических погрешностей ВЭ

УУК, вызванных вибрацией станка, по формам проявления, которая позволяет дифференцировать влияние отдельных параметров возмущения /виброскорости, виброускорения/ на точность работы УУК.

3. Выделены 6 основных типов ВЭ УУК. Конструктивные схемы УУК, полученные сочетанием этих однотипных и разнотипных элементов, охватывают основные разновидности УУК, применяемых в промышленности. Проведенная типизация позволила разработать методику и установить зависимости для расчета погрешностей практически всех наиболее распространенных типов УУК.

4. Установлено, что в послекритическом режиме колебательная система, образованная ВЭ и упругими элементами головки УУК является примером кусочно-линейной или виброударной системы, имеющей точное решение, которое определяется методом "припасовывания". Учет упругого отскока измерительного наконечника от детали позволил внести существенные поправки в существующие формулы погрешностей УУК.

5. Приведены аналитические зависимости для расчета всех видов погрешностей УУК, вызванных вибрацией технологической системы станка, которые позволяют, определив спектр колебаний станка, рассчитать величины погрешностей конкретного типа устройства, установленного на станке. В формулах погрешностей учтены не только различия в типах ВЭ и устройств, но и степень инерционности блоков устройств, количество и подобие ВЭ.

6. Практически подтверждено существование виброударного режима работы ВЭ УУК на вибростенде и получены экспериментальные кривые для определения влияния измерительного усилия на величину погрешности, вызванную отрывом ВЭ от детали. Сходимость теоретических и экспериментальных кривых подтверждает правильность аналитических зависимостей для расчета погрешностей и возможность их применения.

7. Установлено влияние времени срабатывания УУК на положение уровня срабатывания и разработана методика экспериментального определения смещения уровня срабатывания при вибрациях корпуса головки УУК, которая позволяет проводить лабораторные испытания различных конструкций УУК с целью выявления возможных погрешностей устройств в условиях вибраций станка.

8. Рассмотрено влияние вибраций технологической системы станка на основные показатели точностной надежности УУК: коэффициент готовности по настройке, вероятность и среднее время безотказной

работы УУК, что способствует прогнозированию работоспособности вновь разрабатываемых УУК на стадии их проектирования.

9. Намечено новое направление работ по уменьшению погрешностей УУК - адаптация существующих конструкций УУК к вибрациям станка, которое вскрывает новые резервы повышения динамической точности УУК.

10. Реализован способ уменьшения погрешностей УУК путем оптимизации момента выдачи УУК команды на окончание обработки детали. Производственные испытания устройства с дополнительной цепью деформации измерительного наконечника подтвердили эффективность предлагаемого способа повышения точности УУК, позволяющего уменьшать рассеивание размеров обрабатываемых деталей в среднем на 24%.

Основное содержание диссертационной работы изложено на IV Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении", /Москва, 1975 г./, а также в опубликованных работах:

1. Белоцерковский В.И., Шорников А.А. Устройство для активного контроля размеров. Авторское свидетельство № 423616. Бюллетень изобретений № 14, 1974.

2. Воронцов Л.Н., Шорников А.А. и др. Вопросы точности управляющих и самонастраивающихся устройств. Тезисы доклада на IV Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении." М., 1974.

3. Шорников А.А. Динамические погрешности устройств управляющего контроля, вызванные отрывом наконечников от детали. "Известия вузов. Машиностроение", № 2, 1975.

4. Шорников А.А. и др. Система активного контроля точности формы и размеров многоступенчатых деталей. Авторское свидетельство № 442044. Бюллетень изобретений № 33, 1974.