

C 901

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

СУРКОВ Василий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ  
СРЕДСТВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ  
КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Специальность 05.02.08 –  
"Технология машиностроения"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск

1978

Читательский зал  
«Профессиональный»

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола и на Челябинском инструментальном заводе.

Научный руководитель -  
доктор технических наук, профессор

С.Н.КОРЧАК.

Официальные оппоненты:

заслуженный деятель науки и техники БССР,  
академик АН БССР, доктор технических наук,  
профессор

П.И.ЯШЕРИШИН;

кандидат технических наук, доцент

В.С.СТАРОДУБОВ.

Ведущее предприятие - московский инструментальный завод "Калибр".

Защита состоится "15" мая 1978 г., в 15<sup>00</sup> часов,  
на заседании специализированного совета К-597/1 по присуждению учено-  
ной степени кандидата технических наук в Челябинском политехничес-  
ком институте имени Ленинского комсомола по адресу:  
454044, Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76, тел.39-39-64.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского по-  
литехнического института имени Ленинского комсомола.

Автореферат разослан "15" июня 1978 г.

Ученый секретарь специа-  
лизированного совета -  
кандидат технических наук,  
доцент

В.М.Меньшаков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Решение проблемы обеспечения высокого качества продукции машиностроения требует всемерного повышения уровня автоматизации, точности и надежности технологических процессов. Особен- но это относится к финишным технологическим операциям и, в первую очередь, к шлифованию. Применение средств активного контроля на шлифовальных станках позволяет автоматизировать процесс контроля и обработки, повысить точность обработки и увеличить производительность. В отечественной и мировой практике в настоящее время используется большое количество моделей систем активного контроля. Но в результате тех или иных нарушений работоспособности происходит снижение эффективности технологического процесса, вызываемое экономическими потерями из-за понижения качества размерной обработки и простой оборудования. В связи с этим исследование вопросов точности и надежности различных систем активного контроля, направленное на повышение эффективности их применения в процессе шлифования, в особенности на станках-автоматах, имеет большое значение и является актуальной задачей.

**Цель и задачи работы.** Целью настоящего исследования является повышение эффективности систем активного контроля для круглошлифовальных станков путем разработки и внедрения в промышленности методов и средств оценки технологической надежности данных систем.

Для достижения намеченной цели в работе поставлены следующие научно-технические и прикладные задачи, решение которых определило основные направления и методику исследования: 1. Теоретическое и экспериментальное исследование составляющих погрешности обработки деталей на станках, оснащенных системами активного контроля. 2. Разработка комплекса показателей, определяющих технологическую надежность систем активного контроля, а также методов и средств определения данных показателей; 3. Разработка нормативов точности и надежности средств активного контроля. 4. Разработка и внедрение в промышленности рекомендаций по повышению технологической надежности средств активного контроля.

**Метод исследования.** В работе применялся комплексный метод теоретического и экспериментального исследования. При теоретической

оценке составляющих погрешностей использовались методы теории вероятностей и математической статистики. Статистический анализ позволил выявить доминирующие составляющие погрешности контроля и обработки и сформировать комплекс показателей технологической надежности. Значимость разработанного комплекса подтверждается большим количеством экспериментальных исследований с соответствующей статистической обработкой, выполненных на специально разработанных стендах. Расчеты по теоретическому обоснованию, а также обработка экспериментальных данных проводились на ЭВМ.

Научная новизна. 1. Дано математическое выражение погрешности контроля с учетом дискретного характера работы системы активного контроля. 2. Установлены закономерности влияния составляющих погрешности контроля и обработки на формирование суммарного поля рассеивания размеров при шлифовании. 3. Разработан комплекс показателей технологической надежности систем активного контроля. 4. Установлено соотношение наработок на отказ при стендовых и эксплуатационных испытаниях и получены экспериментальные данные о технологической надежности систем активного контроля.

Практическая ценность и реализация работы. Разработаны и внедрены в производство: 1) методы и средства испытаний систем активного контроля на точность и надежность, позволившие повысить объективность оценки и обеспечить повышение технологической надежности серийно выпускаемых систем активного контроля; 2) комплекс нормативов точности и надежности систем активного контроля; 3) рекомендации по повышению технологической надежности средств активного контроля, позволившие модернизировать и усовершенствовать основные модели систем активного контроля (БВ-6060, БВ-4100, БВ-6017.4К и др.). В результате проведенной модернизации наработка на отказ возросла в 1,5-3 раза, процент выбросов снизился с 0,6 до 0,1-0,2%.

Основные результаты работы вошли в руководящий технический материал "Точность и надежность систем активного контроля. Номенклатура показателей, методы и средства испытаний", использованы при разработке "Типовой программы Государственных приемочных испытаний ИМ2-01-74. Средства активного контроля при круглом шлифовании", ГОСТ 8517-70, ГОСТ 18272-72, ГОСТ 9376-74, технических условий на средства активного контроля (на 16 моделей).

Экономический эффект проведенной работы составляет более 280 тыс. рублей в год.

Апробация работ. Отдельные разделы и результаты в целом докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах: "Прогрессивные методы шлифования" (ЧДНТП, Челябинск, 1974, 1976 гг.), "Активные средства контроля в промышленности" (ЦНИИ информации, Москва, 1975); научно-технических конференциях: отраслевой "Современные методы и средства технического контроля размеров в машиностроении" (Омск, 1970), 2-й и 4-й Уральских по новейшим достижениям в области метрологии и техники точных измерений (Свердловск, 1971, 1977 гг.), I-й республиканской "Методы и средства измерения механических и линейно-угловых величин в приборостроении и машиностроении" (Киев, 1975), Всесоюзной "Автоматизация обеспечения качества продукции в машиностроении и приборостроении" (Севастополь, 1976), а также на отраслевых координационных совещаниях по надежности выпускаемой продукции (Ленинград, Киров, Челябинск, Ставрополь, 1970-73 гг.), на научно-технических конференциях Белорусского и Челябинского политехнических институтов и Ростовского-на-Дону института сельхозмашиностроения.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 14 печатных работах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Содержит 122 страницы машинописного текста, 34 рисунка, 43 таблицы, библиографию из 119 названий и 7 приложений.

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под технологической надежностью системы активного контроля понимается свойство системы обеспечивать в течение требуемого промежутка времени или наработки выполнение задач, обусловленных ее назначением (выдачу команд на изменение режимов или прекращение обработки при достижении определенных значений размера) с точностью и производительностью, установленными нормативно-технической документацией.

Большой вклад в развитие науки о точности и надежности машин и приборов внесен советскими учеными: А.С.Прониковым, И.В.Дунином-Барковским, П.И.Ящерицким, А.И.Конюхом, Х.В.Кордонским, В.И.Ищуткиным (технологическая надежность станков, системы СПИД), С.С.Волосовым, А.В.Высоцким, Б.А.Тайцем, М.И.Коченовым, Н.Н.Марковым, В.В.Кондашевским, Л.Н.Воронцовым (точность метрологических и технологичес-

ких систем), М.М.Кемпинским, М.С.Невельсоном (надежность средств контроля) и др., а также рядом зарубежных авторов. Анализ литературных источников показывает высокий уровень разработки вопросов точности средств измерения и автоматизации. В то же время он свидетельствует о недостаточности конкретных знаний о технологической надежности систем активного контроля. Более эффективное использование средств активного контроля в определенной мере сдерживается отсутствием достаточного комплекса показателей и научно обоснованных нормативов технологической надежности средств активного контроля. Существующие методы и средства исследования точности и надежности систем активного контроля в динамических режимах не удовлетворяют потребностям практики в смысле точности, производительности и стоимости испытаний, в особенности применительно к испытаниям серийно выпускаемых прецизионных систем. С учетом вышеизложенного были сформулированы цель и задачи исследования.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

I. Составляющие погрешности обработки на станках, оснащенных системами активного контроля.

Погрешность обработки системы СПИД, оснащенной средствами активного контроля, может быть представлена в виде

$$\Delta_{обр} = \Delta_k + \Delta_{исп} + \Delta_{тф}, \quad (I)$$

где  $\Delta_k$  – погрешность контроля;

$\Delta_{исп}$  – погрешность исполнения команды системы активного контроля механизмами станка;

$\Delta_{тф}$  – погрешность, вызванная технологическими факторами (температурные деформации, нестабильность скорости съема припуска и т.п.).

Погрешность контроля  $\Delta_k$  является одной из составляющих погрешности обработки и представляет собой разность между заданным размером  $\mathfrak{X}_o$  и размером детали  $\mathfrak{X}$  в момент выдачи команды на прекращение обработки

$$\Delta_k = \mathfrak{X} - \mathfrak{X}_o. \quad (2)$$

Погрешность контроля складывается из погрешностей аналогового и дискретного преобразователей (АП и ДП). Погрешность АП, как и других средств измерения, является непрерывной случайной величиной, а

погрешность ДП проявляется специфическим образом в силу дискретного характера выходного сигнала (команды) и не попадает под общепринятое определение погрешности измерения (например, по ГОСТ 16263 "Метрология").

Если на вход ДП поступает постоянный сигнал  $\infty$ , то при отсутствии погрешности вероятность срабатывания ДП должна иметь вид

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x < x_0; \\ \frac{1}{2}, & x = x_0; \\ 1, & x > x_0. \end{cases} \quad (3)$$

Вероятность срабатывания реального ДП есть функция входного сигнала  $P(x)$ , принимающая значения от 0 до 1 в некоторой окрестности  $x_0$  (рис.1). Если входной сигнал постепенно возрастает, то уровень срабатывания  $x_t$  есть случайная величина с плотностью распределения  $\varphi(x)$  (рис.2). При подаче на вход постоянного сигнала  $\infty$  ДП срабатывает, если случайное значение уровня срабатывания  $x_t$  окажется меньше  $\infty$ , и вероятность срабатывания будет

$$P(x) = P\{x_t < \infty\} = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) dx, \quad (4)$$

то есть функция распределения случайной величины уровня срабатывания (при возрастающем входном сигнале) совпадает с вероятностью срабатывания ДП при постоянном входном сигнале. Отсюда следует определение погрешности дискретного преобразователя:

— погрешностью ДП называется непрерывная случайная величина  $\Delta_{dp} = x_t - x_0$  отклонения уровня срабатывания  $x_t$  от заданного  $x_0$ , имеющая функцию распределения  $F(x) = P(x - x_0)$ , где  $P(x)$  — вероятность срабатывания ДП при постоянном входном сигнале  $\infty$ .

Это позволяет определить и погрешность контроля как непрерывную случайную величину с параметрами

$$\begin{aligned} \bar{\Delta}_k &= \bar{\Delta}_{dp} + \bar{\delta}_{dp}; \\ \bar{\sigma}_k &= \sqrt{\bar{\sigma}_{dp}^2 + \bar{\sigma}_{\delta dp}^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\bar{\Delta}_k$  — систематическая составляющая погрешности контроля в данном цикле;

$\bar{\sigma}_k$  — среднее квадратическое отклонение случайной составляющей.

Для множества циклов  $\bar{\Delta}_k$  можно представить в виде

$$\bar{\Delta}_k = \Delta_n + \varepsilon(t), \quad (6)$$

где  $\Delta_n$  – погрешность начальной настройки;

$\xi(t)$  – случайный процесс смещения настройки во времени.

В формировании погрешности обработки принимают также участие систематические и случайные составляющие погрешностей  $\Delta_{\text{исп}}$  и  $\Delta_{\text{тф}}$ . В работе выведены формулы для их определения:

1) Систематическая погрешность отставания (динамическая погрешность настройки, вызванная инерционностью системы активного контроля)

$$\bar{\Delta}_{\text{от}} = \bar{U} \cdot \bar{\Delta t}_c , \quad (7)$$

где  $\bar{U}$  – среднее значение скорости изменения контролируемого размера;

$\bar{\Delta t}_c$  – среднее значение времени отставания системы активного контроля.

2) Систематическая погрешность исполнения команды системы активного контроля механизмами станка

$$\bar{\Delta}_{\text{исп}} = U \cdot \bar{\Delta t}_{\text{исп}} , \quad (8)$$

где  $\bar{\Delta t}_{\text{исп}}$  среднее время исполнения команды.

3) Систематическая погрешность от температурных деформаций

$$\bar{\Delta}_e = \bar{\Delta}_{e_{\text{кон}}} - \bar{\Delta}_{e_{\text{нач}}} , \quad (9)$$

где  $\bar{\Delta}_{e_{\text{нач}}}$ ,  $\bar{\Delta}_{e_{\text{кон}}}$  – центры группирования погрешностей от температурных деформаций в начале и конце обработки партии деталей.

4) Среднее квадратическое отклонение погрешности исполнения команды системы активного контроля механизмами станка

$$\sigma_{\text{исп}} = \sqrt{[\bar{U} \cdot \sigma(\Delta t_{\text{исп}})]^2 + [\sigma(U) \cdot \bar{\Delta t}_{\text{исп}}]^2} , \quad (10)$$

где  $\sigma(\Delta t_{\text{исп}})$  – среднее квадратическое отклонение времени исполнения команды;

$\sigma(U)$  – среднее квадратическое отклонение скорости изменения размера.

5) Среднее квадратическое отклонение погрешности от нестабильности скорости съема и времени отставания

$$\sigma_U = \sqrt{[\sigma(U) \cdot \bar{\Delta t}_c]^2 + [\bar{U} \cdot \sigma(\Delta t_c)]^2} , \quad (11)$$

где  $\sigma(\Delta t_c)$  – среднее квадратическое отклонение времени отставания системы.

6) Среднее квадратическое отклонение погрешности от температурных деформаций

$$\sigma_{\theta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta_{\theta,i+1} - \Delta_{\theta,i})^2}{2(N-1)}}, \quad (12)$$

где  $N$  – число циклов в последовательности (объем партии).

Систематическая погрешность, имеющая место после каждой настройки системы активного контроля

$$\bar{\delta}_{обр} = \bar{\Delta}_H + \bar{\Delta}_{om} + \bar{\Delta}_{цен}. \quad (13)$$

обычно почти полностью компенсируется изменением уровня начальной настройки  $\Delta_H$  путем поднастройки системы по результатам измерения обработанных деталей.

Среднее квадратическое отклонение погрешности обработки может быть подсчитано по формуле

$$\sigma_{обр} = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_{цен}^2 + \sigma_v^2 + \sigma_{\theta}^2}. \quad (14)$$

Мгновенное поле рассеивания размеров  $\delta_{mt}$  устанавливается через  $\sigma_{обр}$ . По ГОСТ 16.305-74

$$\delta_{mt} = 6 \sigma_{обр}. \quad (15)$$

Суммарное поле рассеивания находится суммированием характеристик смещения с мгновенным полем рассеивания

$$\omega = \varepsilon(t) + \bar{\Delta}_{\theta} + \delta_{mt}. \quad (16)$$

## 2. Показатели технологической надежности систем активного контроля, методы и средства их определения

В работе проведено обоснование выбора комплекса основных показателей точности и надежности систем активного контроля. Предложенные показатели точности (размах срабатывания  $R$ , предельная погрешность настройки  $\Delta_{Hпр}$ , предельное смещение настройки  $\varepsilon_{пр}$ ) выражаются в виде квантилей распределения, ограничивающих соответствующие случайные величинцы с вероятностью 0,95.

Нарушение нормированных пределов для показателей точности является отказом по точности контроля, или технологическим (точностным) отказом. Наличие грубой погрешности контроля (выброса) в очередном цикле также является отказом по точности контроля. Нарушение бесперебойности контроля является отказом функционирования.

Рекомендован комплекс показателей, характеризующий безотказность, ремонтопригодность и долговечность системы активного контроля:

I) наработка на точностной отказ  $T_T$ ;

- 2) наработка на отказ функционирования  $T_{\text{Ф}}$ ;
- 3) процент выбросов  $\lambda \%$ ;
- 4) коэффициент технического использования  $K_{\text{ти}}$ ;
- 5) средний срок службы  $T_{\text{сл}}$ .

Технологическую надежность систем активного контроля характеризуют в первую очередь наработка на точностной отказ  $T_{\text{т}}$  и процент выбросов  $\lambda \%$ .

Для определения показателей точности в динамическом режиме разработаны три типа стендов, которые имитируют режим работы средств активного контроля в составе системы СПИД, и методику определения данных показателей путем статистического исследования случайных последовательностей погрешности контроля. Также предложена методика ускоренных испытаний систем на надежность и разработана гамма специальных стендов.

### СТЕНДОВЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

I. На различных типах отечественных и зарубежных систем в динамическом режиме исследована зависимость размаха срабатывания  $R_{\text{дин}}$  от скорости изменения размера  $V$  (рис.3). Определены также предельное смещение настройки  $\Delta_{\text{пр}}$  и процент выбросов  $\lambda \%$ . Для каждой системы объем испытаний составлял 18000 циклов.

Установлено, что  $R_{\text{дин}}$  составляет 0,3–0,5 мкм для  $V < 10$  мкм/с и 0,5–0,8 мкм для  $V$  до 15 мкм/с. Отмечено, что  $\epsilon_{\text{пр}}$  и  $\lambda$  практически не зависят от скорости изменения контролируемого размера. Средние значения показателей приведены в табл. I.

Таблица I

Модель системы активного контроля	Предельное смещение настройки $\epsilon_{\text{пр}}$ , мкм	Процент выбросов $\lambda \%$
Пневматические системы активного контроля		
БВ-6060.2К	1,00	0,27
БВ-60Г7.4К	1,23	0,43
„Негорал“ (ГДР)	0,98	0,39
Индуктивные системы активного контроля		
БВ-4100 (с блоком БВ-6053Ч)	0,82	0,39
БВ-4100 (с блоком БВ-6119)	0,77	0,35
„Margoss“ (Италия)	0,52	0,37

2. Время отставания  $\Delta t_c$  определялось при  $U = 1,2; 2,5; 5; 10$  и  $15$  мкс/с. Анализ результатов показывает, что  $\Delta t_c$  индуктивных систем активного контроля составляет  $0,08\text{--}0,12$  с, пневматических —  $0,22\text{--}0,28$  с. Коэффициент вариации времени отставания колебается в пределах  $0,08\ldots0,20$ , поэтому для ориентировочных расчетов можно принимать

$$\sigma(\Delta t_c) = 0,15 \Delta t_c.$$

3. Проведены длительные стендовые испытания основных систем активного контроля (БВ-6060, БВ-6017.4К, БВ-4100, БВ-4092, БВ-4009). После проведенной модернизации по рекомендациям автора испытания были повторены. План испытаний [N, M, T] выбран согласно ГОСТ 16504-74. Для этого плана достаточной статистикой является число  $m$  отказов, произошедших за время испытаний. При  $m > 10$  проверялась гипотеза об экспоненциальном распределении времени безотказной работы путем сравнения эмпирической функции надежности с теоретической  $R(t) = e^{-\frac{t}{T}}$ . Дополнительной проверкой служило значение коэффициента вариации  $V(t) = \sigma(t)/T$ , который для экспоненциального закона должен быть равен 1. Учитывая, что в момент наступления отказа функционирования очередная обрабатываемая деталь оказывается, как правило, бракованной одновременно с определением технологической надежности определялась надежность функционирования. Результаты испытаний на надежность приведены в табл.2.

Установлено, что закон распределения времени безотказной работы является экспоненциальным или близким к экспоненциальному, а интенсивность точностных отказов системы активного контроля примерно в 3 раза выше, чем функциональных.

4. Результаты эксплуатационных испытаний большой группы систем активного контроля, проведенных в 1972-75 гг., приведены в табл.3.

На основании полученных результатов установлено, что наработка на отказ системы активного контроля в условиях эксплуатации в 3-4 раза меньше, чем при стендовых испытаниях. С учетом достоверности и точности этой оценки рекомендуется принимать переведной коэффициент, равный 5, то есть уменьшать наработку на отказ, получаемую на стенде, в 5 раз. Такой показатель гарантируется в реальных условиях эксплуатации.

5. На ряде предприятий были проведены эксплуатационные испытания систем активного контроля (БВ-6060.2К, БВ-6017.4К, БВ-4100, „Аегоран”, „Марпосс” и др.) с целью определения процента брака “по

Таблица 2

Результаты стендовых испытаний по точностным отказам  
и отказам функционирования

Модель системы активного контроля	БВ-6060.2К		БВ-60Г".4К		БВ-4100	
	до мо- дерни- зации	после мо- дерниза- ции	до мо- дерни- зации	после мо- дерниза- ции	до мо- дерни- зации	после мо- дерниза- ции
Интенсивность обкатки,цикл/ч	3000	5000	3000	3000	3000	3000
Длительность ис- пытаний $T$ , млн. циклов	15,0	15,0	1,5	15,0	2,0	15,0
Количество испы- тываемых систем	4	6	2	6	2	4
Суммарная нара- ботка $T_x$ , млн. циклов	60,0	90,0	3,0	90,0	4,0	60,0
Количество "m"						
а) точностных отказов	64	43	15	130	8	49
б) отказов фун- кционирования	17	14	6	59	3	17
Наработка на от- каз,млн.циклов						
а) $T_t$	0,94	2,1	0,2	0,69	0,50	1,23
б) $T_{\Phi}$	3,5	6,4	0,50	1,53	1,33	3,52
Интенсивность						
а) точностных отказов $\lambda_t$	1,07	0,48	5,0	1,45	2,0	0,81
б) отказов фун- кционирования $\lambda_{\Phi}$	0,29	0,16	2,0	0,65	0,75	0,28
$\sigma(t)$ ,млн.циклов						
а) для точност- ных отказов	1,03	1,4	0,21	0,58	0,38	1,13
б) для отказов функционировани	3,30	5,7	-	1,58	-	3,38
Коэффициент ва- риации						
а) $V(t) = \frac{\sigma(t)}{T_t}$	1,1	0,67	1,05	0,85	0,76	0,94
б) $V(t) = \frac{\sigma(t)}{T_{\Phi}}$	0,94	0,89	-	1,01	-	0,96
Закон распреде- ления времени безотказной рабо- ты: а)	экспон.	близок к экс- поненц.	экспо- ненц.	экспо- ненц.	близок к экс- поненц.	экспо- ненц.
б)	экспо- ненц.	экспо- ненц.	-	экспо- ненц.	-	экспо- ненц.

Таблица 3

Наработка на отказ, млн. циклов

Модель системы	Количество испытанных систем	Вид отказа	
		точностной отказ	отказ функционирования
БВ-6060.2К	79	0,28	0,83
БВ-6017.4К	171	0,18	0,51
235	244	0,15	0,49
"Аегорап"	242	0,18	0,13
БВ-4100	95	0,12	0,37

вине системы активного контроля". Брак "по вине системы" засчитывался, если размер в контролируемом сечении выходил за пределы поля допуска. Брак считался "не по вине системы", когда этот размер был в допуске, но деталь браковалась по другим причинам (конусность, погрешность формы, прижоги, качество поверхности и т.п.). Анализ полученных результатов показывает, что общее количество брака в 3-4 раза превышает брак "по вине системы". Проведенная модернизация систем активного контроля позволила снизить брак "по вине системы" на 0,4-0,5%.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ С СИСТЕМАМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

I. Одним из наиболее важных вопросов при исследовании точности шлифования с системой активного контроля является выделение доминирующих составляющих погрешности обработки. Для осуществления такого исследования разработана схема испытаний, включающая в себя специальные и универсальные измерительные и записывающие устройства. Эта схема обеспечивает одновременную фиксацию и возможность сравнения между собой во времени наиболее важных параметров процесса обработки и контроля (моменты выдачи команд системой активного контроля, момент исполнения станком команды на прекращение обработки, значения температурных деформаций и др.). Обработка записей дает возможность вычислить основные составляющие погрешности обработки - по формулам (7)-(16).

Анализ результатов, полученных с помощью вышеуказанной схемы испытаний показывает, что поле рассеивания на станке ЭМ151В с системой БВ-6060.2К примерно на 10% больше, чем с системой БВ-4100 за

счет увеличения составляющей  $B_U$ , а это, в свою очередь, объясняется тем, что время отставания пневматической системы БВ-6060.2К существенной больше, чем индуктивной БВ-4100.

По результатам испытаний на круглошлифовальных станках моделей ЗА151 и ЗМ151В было отмечено, что станок ЗА151 обладает меньшей по сравнению с ЗМ151В жесткостью системы ОПИД; работе механизма подачи этого станка присуща большая нестабильность во времени и от цикла к циклу по сравнению со станком ЗМ151В. Вследствие непостоянства резания и соответствующего увеличения температурных и динамических погрешностей станок ЗА151 дает примерно на 50% худшие результаты по сравнению со станком ЗМ151В.

На диаграмме (рис.4) показана доля различных составляющих погрешности в формировании поля рассеивания размеров при шлифовании. Учитывая доминирующую роль температурных деформаций, следует признать целесообразным разработку систем активного контроля с автоматической компенсацией температурных деформаций. Наиболее эффективным будет разработка станков, систем управления или схем построения цикла шлифования, которые исключают непостоянство режимов шлифования на заключительном этапе обработки.

2. В работе проведено определение нестабильности скорости съема припуска в режиме выхаживания, а также выявление корреляционных зависимостей между припуском, скоростью съема припуска и погрешностью обработки.

#### РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Нормирование показателей точности систем активного контроля рекомендуется производить, ориентируясь на ГОСТ 8517-70 "Приборы активного контроля при круглом шлифовании". При этом указанные в ГОСТе показатели надо понимать как предельные значения. Предложено также определение размаха срабатывания и предельного смещения настройки проводить в динамическом режиме.

Предложена методика расчета и выбора систем активного контроля по допуску на обработку.

При нормировании показателей технологической надежности следует исходить из результатов длительных испытаний. Анализ показывает, что диапазон наработок на отказ лежит в пределах от сотен тысяч до миллионов циклов, а по выбросам доходит до единиц процентов. Це-

лесообразно весь диапазон разбить на группы (классы надежности). Их наличие позволит сравнивать между собой системы активного контроля и стимулировать повышение их технологической надежности.

С точки зрения потребителя целесообразно иметь объединенный показатель - наработку на устойчивый отказ, так как и точностные отказы, и отказы функционирования требуют снятия систем активного контроля и передачи их в ремонт. Учитывая экспоненциальное распределение случайного времени между отказами

$$\lambda_y = \lambda_\phi + \lambda_t; \quad T_y = \frac{1}{\lambda_y}$$

Предложения по нормированию даны в табл.4 (с учетом переводного коэффициента  $K_p = 5$ ). На основании проведенных исследований были разработаны и внедрены рекомендации по усовершенствованию и повышению технологической надежности систем активного контроля.

Таблица 4  
Классы надежности систем активного контроля  
по устойчивым отказам и проценту выбросов

Класс надежности	Наработка на устойчивый отказ		Процент выбросов	Наработка на один выброс $T_{cp} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{A\%}$
	в тыс.циклов, не менее	при стендовых испытаниях		
I	600	120	Менее 0,02	5000
2	400	80	0,02...0,10	1000
3	200	40	0,11...0,50	200

Полученные результаты вошли в руководящий технический материал "Точность и надежность систем активного контроля. Номенклатура показателей, методы и средства испытаний". В течение 1975-77 гг. первая редакция РТМ успешно прошла экспериментальную проверку на заводах-изготовителях и ряде предприятий-потребителей. В настоящее время подготовлена к утверждению окончательная редакция РТМ.

Результаты исследований были использованы при составлении "Типовой программы государственных приемочных испытаний НМ2-01-74, Средства активного контроля при круглом шлифовании", а также при разработке Государственных стандартов и технических условий на системы активного контроля моделей БВ-6060.2К, БВ-4100, БВ-4009, БВ-4066К БВ-4III и других.

Общая экономическая эффективность от внедрения разработанных предложений по методам и средствам испытаний и повышению надежности систем активного контроля составляет свыше 280 тыс.рублей в год (подтверждено отраслью).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании теоретических и экспериментальных исследований в работе получены следующие основные результаты:

1. Выполнен теоретический анализ точности процесса шлифования с системой активного контроля, дано математическое выражение погрешности контроля с учетом ее дискретного характера. Выведены формулы для оценки основных составляющих погрешности обработки и их влияния на суммарное поле рассеивания размеров при шлифовании.

2. Дано определение понятий работоспособности, технологического (точностного) отказа и отказа функционирования систем активного контроля и рекомендован комплекс основных показателей их надежности: а) наработка на устойчивый отказ  $T_u$ ; б) процент выбросов  $A\%$  (процент грубых погрешностей контроля); в) коэффициент технического использования  $K_{ти}$ ; г) средний срок службы  $T_{сл}$ .

3. На базе быстродействующих электронных устройств создан принципиально новый стенд, позволяющий определять суммарную погрешность системы активного контроля и ее быстродействие. Стенд обладает достаточно малой собственной погрешностью, не превышающей 0,15 мкм. Разработана гамма стендов, позволяющих проводить ускоренные испытания по определению показателей технологической надежности различных моделей систем активного контроля.

4. В результате стендовых и эксплуатационных испытаний получены данные о точности и надежности основных серийно выпускаемых отечественных моделей систем активного контроля (БВ-6060.2К, БВ-6017.4К, БВ-4100 и др.), а также систем активного контроля зарубежных фирм "Aeropan" и "Margoss". Установлены соотношения между результатами стендовых и эксплуатационных испытаний, а также между интенсивностью точностных отказов и отказов функционирования.

5. Определена нестабильность скорости съема припуска в режиме "выхаживания", которая достигает 100%, а средний коэффициент вариации близок к 0,5. Для ее уменьшения следует стремиться к повышению жесткости шлифовального станка.

Установлена существенная корреляционная связь между скоростью съема припуска и погрешностью обработки, причем, при увеличении подачи от 0,35 до 1 мм/мин коэффициент корреляции увеличивается от 0,21 до 0,62.

6. С целью определения основных составляющих погрешности шлифования иоценки их роли в формировании поля рассеивания размеров было проведено экспериментальное исследование процесса шлифования

на станках ЗА151 и ЗМ151В с системами БВ-6060.2К и БВ-4100 на разработанном спецстенде. Показано, что доминирующим фактором является погрешность от температурных деформаций (60-80%), а погрешность контроля составляет 10-30% от суммарной.

7. Разработаны нормативы, позволяющие характеризовать соответствие точности системы активного контроля данному процессу обработки в зависимости от размаха срабатывания в динамическом режиме и появления допуска на обработку, разработан комплекс нормативов надежности по устойчивым отказам (точностным отказам и отказам функционирования) и по проценту выбросов.

8. Рекомендации по повышению точности и надежности систем, по усовершенствованию их конструкций и повышение уровня унификации, разработанные на основании результатов исследования, внедрены ОКБ СА, БВ МС и ИП (г.Москва) и ЧИЗом (г.Челябинск) при выпуске и модернизации систем моделей КУ9-КУ15, БВ-6060.2К, БВ-6017.4К, БВ-4100. В результате внедрения рекомендаций наработка на отказ возросла в 1,5-3 раза, процент выбросов снизился с 0,6 до 0,1-0,2%.

9. Основные результаты диссертационной работы вошли в руководящий технический материал "Точность и надежность систем активного контроля. Номенклатура показателей, методы и средства испытаний", а ряд рекомендаций включен в "Типовую программу Государственных приемочных испытаний ПМ2-01-74. Средства активного контроля при круглом шлифовании", в ГОСТ 8517-70, ГОСТ 18272-72, ГОСТ 9376-74 и технические условия на средства активного контроля.

Основные результаты диссертации опубликованы в статьях:

1. Повышение точности и надежности приборов активного контроля. - "Измерительная техника", 1977, № 1.
2. Определение показателей надежности приборов активного контроля. Респ.межведомств.научн.техн.сб. "Приборостроение", Киев, "Техника", 1975, № 19.
3. Опыт исследования и повышения точности и надежности приборов активного контроля. Сб. "Методы и средства контроля линейно-угловых величин в приборостроении и машиностроении". Киев, общ.-во "Знание", УССР, 1975.
4. Повышение точности при шлифовании с активным контролем. - ОН. "Прогрессивные методы шлифования". Челябинск, ЧДНТП, 1975.
5. Динамические характеристики приборов активного контроля и их оценка. - "Измерительная техника", 1977, № 1. Советчики: Машинистов В.М., Соболев И.П., Хасин И.А., Эйтингоф И.И.

6. О погрешности дискретных преобразователей в приборах активного контроля. - Р.Ж. "Металлорежущий и контрольно-измерительный инструмент". М., НИИМАШ, 1976, № 5. Соавтор -- Теш Л.В.

7. Испытание приборов активного контроля линейных размеров. - Научн.техн.реф.сб. "Металлорежущий и контрольно-измерительный инструмент". М., НИИМАШ, 1974, № 3. Соавтор -- Пилипчук В.А.

8. О выборе и нормировании показателей точности приборов активного контроля. - Респ.межведомств.научно-техн.сб. "Приборостроение". Киев, "Техника", 1975, № 19. Соавторы: Мурадов А.П., Волков С.П.

9. Определение показателей точности приборов активного контроля. - Сб. трудов "Автоматическое производство и контроль в машиностроении". Под ред. А.Ф.Федотова. Омск, ОМИ, 1974.

10. Выбор комплекса показателей надежности приборов активного контроля. - Сб. трудов № 145 ЧИИ "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", Челябинск, 1974.

11. Стенд для комплексных динамических испытаний приборов активного контроля. - Сб. "Интенсификация и контроль технологических процессов в сельхозмашиностроении". Ростов-на-Дону, Институт сельхозмашиностроения, 1974.

12. Исследование надежности приборов активного контроля. Тезисы докл. Всесоюзной конф. "Автоматизация обеспечения качества продукции в машиностроении и приборостроении", Севастополь, 1976.

13. Исследование динамической точности приборов активного контроля. Тезисы докл. Всесоюзн.конф. "Автоматизация обеспечения качества продукции в машиностроении и приборостроении", Севастополь, 1976.

14. Исследование точности и метрологической надежности приборов активного контроля. Тезисы докл. Второй Уральской научн.техн.конф. по новейшим достижениям в области метрологии и техники точных измерений. Свердловск, 1971.

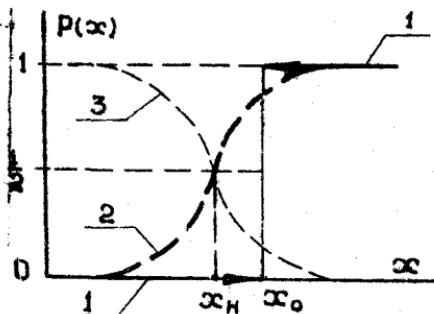


Рис.1. Вероятность срабатывания  $P(x)$  дискретного преобразователя (ДП) при постоянном входном сигнале:

1 – идеальный ДП;

2 – реальный ДП;

3 – вероятность несрабатывания  $I - P(\infty)$

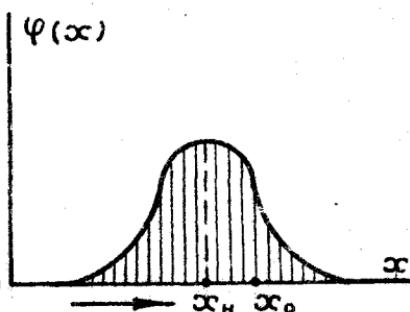


Рис.2. Плотность распределения случайного значения уровня срабатывания при возрастающем входном сигнале

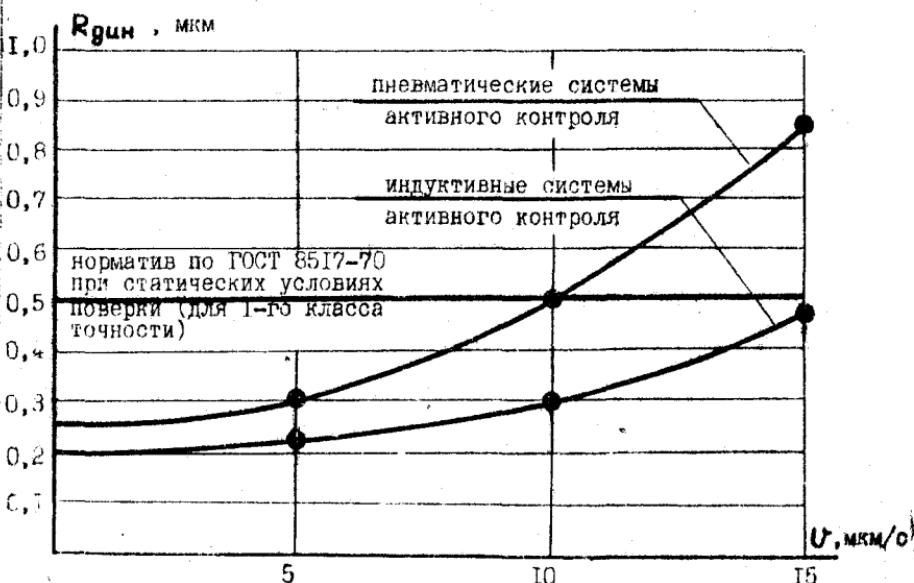


Рис.3. Зависимость размаха срабатывания в динамическом режиме от скорости изменения контролируемого размера

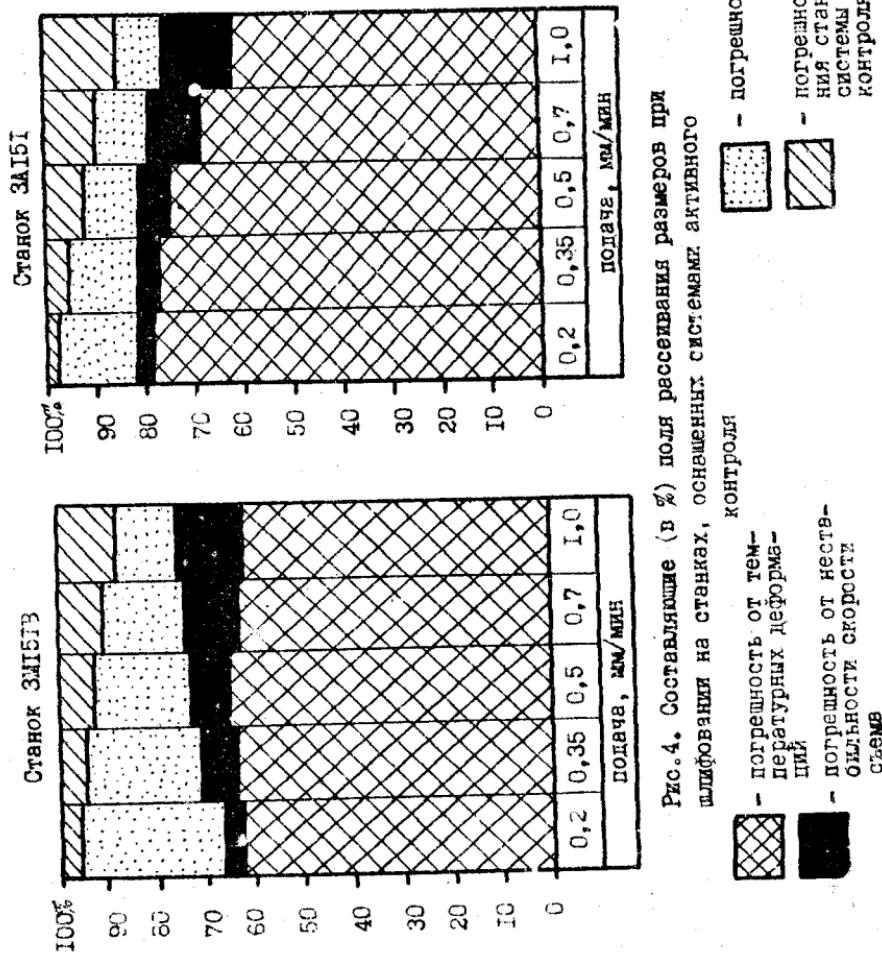


Рис. 4. Составляющие (в %) поля рассеивания размеров при шлифовании на станках, оснащенных системами активного контроля