

5.02.08  
492

✓  
Государственный комитет СССР по народному образованию  
Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Шереметьев Вячеслав Алексеевич

УДК 621.923.045+621.924.543

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ  
ДЛЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ  
БЕСЦЕНТРОВОГО НАРУЖНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Специальность 05.02.08 -- " Технология машиностроения "

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
1989

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения"  
Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор С.Н.Корчак.


Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор М.М.Тверской;  
кандидат технических наук, доцент Н.И.Виткасов.

Ведущее предприятие - Волжский автомобильный завод.

Защита состоится ..... 1989 г., в ..... часов, в ауд. .... на заседании специализированного совета К 053.13.01 Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола по адресу: 454044, г.Челябинск, проспект им.В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.  
Автореферат разослан ..... 1989 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
доктор технических наук, профессор

 И.Я.Мирнов

**Актуальность.** На XXVII съезде Коммунистической партии и на последующих пленумах ЦК КПСС подчеркивалось, что главным направлением развития народного хозяйства является повышение эффективности производства и улучшение качества выпускаемой продукции.

Для успешного решения этих задач в станкостроительной и инструментальной промышленности на XII пятилетку намечено значительное увеличение выпуска высокопроизводительного автоматического оборудования, в том числе бесцентровых шлифовальных станков с программным и числовым программным управлением, автоматических линий, а также комплексов из шлифовальных станков и манипуляторов со встроенными средствами микропроцессорной техники.

Эффективность использования шлифовального оборудования с автоматическими системами управления зависит в первую очередь от качества и надежности построения автоматических циклов шлифования, которые на бесцентровых шлифовальных станках с радиальной подачей строятся как параметрические программы изменения скорости радиальной подачи шлифовального круга в зависимости от текущего значения припуска, а на бесцентровых шлифовальных станках с осевой подачей при обработке в автоматических линиях строятся как программы распределения припуска по ступеням (станкам) автоматического цикла шлифования.

В существующих на сегодня нормативных и руководящих материалах отсутствуют рекомендации по выбору режимных параметров для настройки автоматических циклов на бесцентровых шлифовальных станках с радиальной и осевой подачами (бесцентровое наружное шлифование). Поэтому построение автоматических циклов ведется как правило интуитивно, на основании опыта технолога-проектировщика. На практике для построения рационального автоматического цикла шлифования приходится неоднократно производить изменение параметров цикла, причем количество корректировок зависит от квалификации и опыта технолога-проектировщика. Технологу зачастую для гарантии обеспечения точности идет на заведомое занижение режимов резания и, следовательно, на снижение производительности обработки. Поэтому разработка научно обоснованных рекомендаций по назначению режимных параметров автоматических циклов шлифования, обеспечивающих наибольшую производительность при заданной точности, является актуальной.

Цель работы. Разработка методики расчета режимных параметров автоматических циклов шлифования для повышения производительности и обеспечения заданной точности обработки на операциях бесцентрового наружного шлифования.

Основные задачи. В работе решались следующие задачи:

1. Разработка математической модели формирования погрешности обработки с учетом кинематических и силовых особенностей процесса бесцентрового наружного шлифования.
2. Установление взаимосвязи режимных параметров автоматических циклов с погрешностью обработки и производительностью процесса шлифования.
3. Создание методики проектирования автоматических циклов наибольшей производительности для обеспечения заданной точности обработки на операциях бесцентрового наружного шлифования.
4. Разработка, производственная проверка и внедрение нормативов режимов резания для операций бесцентрового наружного шлифования, выполняемых в автоматическом цикле.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории резания металлов, законов механики и аналитической геометрии.

Оценка степени адекватности математических моделей проводилась на основе экспериментальных данных, полученных в лабораторных и производственных условиях. При обработке результатов экспериментов применялись методы математической статистики.

Вычисления и математическое моделирование выполнялись с использованием ЭВМ СМ-4.

Научная новизна. 1. Разработаны аналитические силовые зависимости, устанавливающие для бесцентрового наружного шлифования функциональную связь составляющих силы резания с режимными параметрами обработки и основными технологическими факторами, действующими при шлифовании вне зависимости от диапазона их варьирования.

2. На основании математического моделирования силового взаимодействия элементов технологической системы с учетом кинематики процесса шлифования определены закономерности возникновения и изменения погрешности обработки при автоматическом управлении режимом резания на операциях бесцентрового наружного шлифования.

3. Создана методика расчета скоростей подач и величин припусков на ступенях автоматических циклах шлифования для исполь-

зования в нормативных таблицах и режимных блоках САПР.

Практическая ценность. 1. Для бесцентровых круглошлифовальных станков, работающих в автоматическом цикле, разработаны общемашиностроительные нормативы выбора режимных параметров циклов шлифования, обеспечивающие наибольшую производительность обработки при заданной точности.

2. Для автоматизированного расчета режимных параметров автоматических циклов шлифования разработан пакет прикладных программ для ЭВМ СМ-4, который реализован в виде блока САПР технологических процессов.

Промышленное использование разработанных материалов позволило сократить трудоемкость шлифовальных операций при обеспечении заданной точности обработки.

Реализация работы. По заданию ЦЕНТ Госкомтруда СССР разработаны "Общемашиностроительные нормативы режимов резания для нормирования работ на шлифовальных станках с программным управлением. Часть 2." В них вошли нормативные карты для настройки автоматических ступенчатых циклов бесцентрового наружного шлифования.

Экономический эффект от внедрения нормативов режимов резания для бесцентровошлифовальных станков с программным управлением в промышленность страны составляет 400 тыс. рублей в год.

На Амурском машиностроительном заводе и Невьянском механическом заводе внедрена "Методика расчета параметров автоматических циклов бесцентрового наружного шлифования". По методике определены режимные параметры для настройки автоматических линий модели ME 90310, состоящих из 3-х бесцентровых шлифовальных станков, работающих в автоматическом цикле. Годовой экономический эффект от внедрения автоматических линий составил: на Невьянском механическом заводе - 193,7 тыс. рублей; на Амурском машиностроительном заводе - 102,8 тыс. рублей.

Апробация работы. Диссертационная работа в целом и отдельные ее положения доложены и обсуждены на второй областной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов "Автоматизация машиностроительного производства" Челябинск, 1984 г., на зональной научно-технической конференции "Пути повышения производительности и качества механообработки на машиностроительных предприятиях Урала" Свердловск, 1984 г., на областной научно-практической конференции "Участие молодых ученых и спе-

циалистов в реконструкции и модернизации предприятий, во внедрении новой техники и технологии", Челябинск, 1986 г., на зональной научно-технической конференции "Комплексная механизация и автоматизация в машиностроении", Кемерово, 1987 г., на производственно-техническом семинаре "Автоматизированное проектирование токарных автоматных операций", Челябинск, 1987 г., на республиканской научно-технической конференции "Вклад молодых ученых и специалистов в ускорение научно-технического прогресса и интенсификацию народного хозяйства", Севастополь, 1987 г., на научно-технических конференциях Челябинского политехнического института 1982 - 1988 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 136 наименований и 2 приложений. Работа изложена на 109 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков и 7 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. Введение

Одним из перспективных направлений повышения производительности обработки на операциях бесцентрового наружного шлифования является использование высокопроизводительного оборудования с автоматическими системами управления процессом шлифования. Расчеты, подтверждаемые опытом эксплуатации станков, показывают, что при переводе обработки в автоматический цикл производительность труда повышается на (20...50)% при одновременной стабилизации качественных показателей обработки.

Эффективность использования бесцентровых шлифовальных станков, оборудованных автоматическими системами управления процессом шлифования, зависит, в первую очередь, от того насколько полно реализуются их преимущества, а именно: возможность программного изменения режима резания в процессе обработки детали, а также возможность выбора схемы (количества ступеней) автоматического цикла шлифования, наиболее полно отвечающей производительности и экономичности обработки.

Важным этапом при проектировании операций бесцентрового наружного шлифования, выполняемых в автоматическом цикле, является

ся расчет режимных параметров, необходимых для настройки циклов шлифования. К таким параметрам относятся: количество ступеней автоматического цикла, скорости подач и величины припуска на каждой ступени. Выбранные параметры автоматического цикла шлифования должны обеспечивать требуемые качественные показатели обработки.

Анализ производственного опыта и научно-технической литературы показал, что методических и нормативных рекомендаций (заводских, отраслевых или общесоюзных) по выбору режимных параметров, необходимых для настройки автоматических ступенчатых циклов бесцентрового наружного шлифования, в настоящее время нет. Изданные в 1978 г. "Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 3." содержат для операций бесцентрового наружного шлифования одно значение скорости подачи и величины припуска, что не позволяет использовать их при настройке автоматических многоступенчатых циклов шлифования.

На операциях бесцентрового наружного шлифования, которые, как правило, являются финишными, одним из основных технологических ограничений производительности процесса шлифования является точность обработки.

Научные основы управления точностью обработки при автоматическом изменении режима шлифования в процессе обработки деталей были заложены в работах В.Н. Михелькевича, В.Д. Эльянова, С.Н. Корчака, М.М. Тверского, П.П. Переверзева и ряда других исследователей. Однако все эти предпосылки практически не реализованы для операций бесцентрового наружного шлифования из-за отсутствия математических моделей, достаточно полно описывающих закономерности возникновения и изменения погрешности обработки с учетом кинематических и силовых особенностей процесса шлифования.

Анализ существующих математических моделей для расчета и управления точностью обработки при бесцентровом шлифовании показал, что:

1. Эмпирические модели являются узкодиапазонными и не дают комплексной оценки точности обработки формы поперечного сечения и диаметральных размеров изделия.

2. Аналитические модели погрешности обработки получены из упрощенных кинематических и динамических схем процесса шлифования, в которых не учитывается ряд важных технологических факто-

ров, а именно:

- изменение диаметра заготовки в процессе обработки и связанное с ним изменение параметров наладки станка;
- упругие перемещения элементов технологической системы под действием сил резания;
- изменение режущей способности шлифовального круга за период его стойкости;
- колебание припуска на заготовках и ряд других факторов.

В аналитических моделях отсутствует в явном виде связь погрешности обработки с режимными параметрами процесса шлифования. Поэтому рассчитывать погрешность обработки при автоматическом изменении режима резания в течение цикла обработки детали по указанным моделям не представляется возможным.

Таким образом, в настоящее время отсутствует единая методика назначения всех режимных параметров, необходимых для проектирования автоматических циклов бесцентрового наружного шлифования на этапе технологической подготовки производства.

## 2. Анализ влияния кинематики процесса бесцентрового наружного шлифования на точность обработки

Характерной особенностью кинематики процесса бесцентрового наружного шлифования является нестабильное положение оси заготовки в процессе обработки. В работах, посвященных анализу влияния параметров наладки станка и точности формы поперечного сечения заготовки на колебания оси в процессе шлифования, рассматривались упрощенные геометрические формы базовых элементов и кинематика контакта некруглой заготовки с поверхностью опорного ножа и ведущего круга. Такой подход не позволил получить строгих математических зависимостей для численных расчетов составляющей погрешности обработки от кинематических колебаний оси заготовки в зоне резания (погрешности базирования).

В ходе проведенного теоретического анализа кинематики бесцентрового наружного шлифования (рис. 1) были получены зависимости для расчета колебаний оси заготовки в зависимости от параметров наладки станка и погрешности геометрической формы поперечного сечения заготовки. При выводе зависимостей учитывались кинематические особенности обработки деталей на бесцентровых шлифовальных станках с радиальной и осевой подачами, а также особенности наладки рабочей зоны (геометрия заточки шлифовального и ведущего кругов).

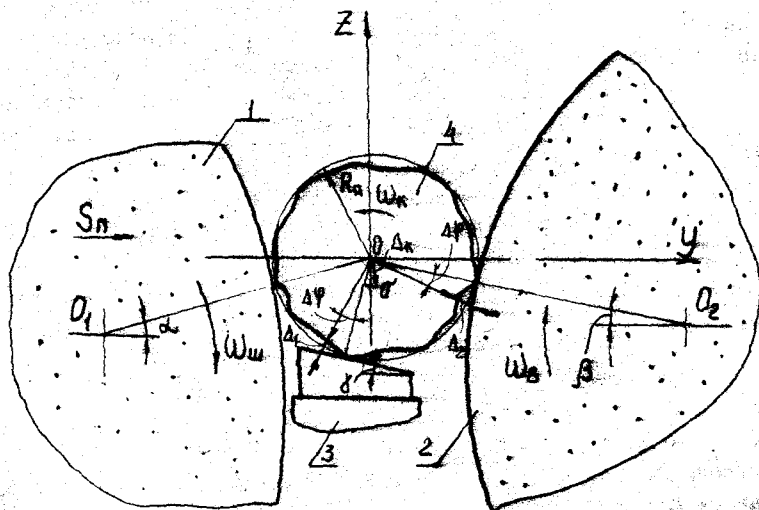


Для бесцентрового шлифования с радиальной подачей колебание оси заготовки, вызванное погрешностью формы поперечного сечения может быть рассчитано по формуле

$$\Delta_k = \sqrt{(\Delta_1 \cos \gamma + \Delta_2 \sin \gamma)^2 + (\Delta_2 \cos \gamma - \Delta_1 \sin \gamma)^2}, \quad (I)$$

где  $\gamma$  - угол скова опорного ножа;  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  - параметры, зависящие от величины исходной погрешности формы поперечного сечения заготовки, параметров наладки станка и геометрической формы ведущего круга.

Кинематическая схема бесцентрового  
шлифования с радиальной подачей



- 1 - шлифовальный круг; 2 - ведущий круг;  
3 - опорный нож; 4 - заготовка.

Рис. 1.

Колебания оси заготовки в процессе бесцентрового наружного шлифования приводит к непрерывному изменению геометрических параметров зоны резания и погрешности базирования заготовки. Известно, что изменение геометрических параметров зоны резания приводит к колебанию сил резания и, следовательно, оказывает большое влияние на точность обработки.

Для разработки расчетно-аналитического метода определения сил резания были получены зависимости, описывающие для бесцентрового наружного шлифования геометрические параметры зоны резания:

$$t_w = (R_i + \Delta_k) - \left( R_n - \frac{S_p 2\pi R_n \pi_3 \cos \alpha}{n} \right);$$

$$S = \frac{B}{m} \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{2R_k R_i \left[ (R_i + \Delta_k) - \left( R_n - \frac{S_p 2\pi R_n \pi_3 \cos \alpha}{n} \right) \right]}{R_k + R_i}}, \quad (2)$$

где  $t_w$  - глубина срезаемого слоя металла;  $S$  - площадь зоны контакта шлифовального круга с заготовкой;  $R_n$  - радиус прилегающей к заготовке окружности;  $R_k$  - радиус шлифовального круга;  $S_p$  - скорость радиальной подачи;  $B$  - высота шлифовального круга.

На основе полученной зависимости (1) с учетом исходной погрешности формы поперечного сечения заготовки можно рассчитать одну из составляющих погрешности обработки - погрешность базирования. Согласно ГОСТ 2195-76 "Базирование и базы в машиностроении" погрешность базирования возникает из-за несовпадения фактически достигнутого положения заготовки при базировании относительно требуемого. Отличительной особенностью погрешности базирования при бесцентровом наружном шлифовании является значительный разброс ее при обработке диаметральной поверхности изделия. При формировании радиуса детали погрешность базирования может быть рассчитана

$$A_{\Delta_3} = \Delta_k \cos \left[ \operatorname{arctg} \frac{\Delta_2}{\Delta_1} + \frac{\pi}{2} - (\alpha + \gamma) \right], \quad (3)$$

где  $\Delta$  - параметр наладки станка.

Экспериментальные исследования по проверке достоверности разработанной математической модели (3) показали, что полученная зависимость адекватно отражает влияние погрешностей формы поперечного сечения заготовки на изменение погрешности базирования.

На рис. 2 для трехгранного профиля поперечного сечения заготовки приведены графические зависимости изменения погрешности базирования при различной исходной точности формы заготовки (I - отклонение от круглости  $\Delta_k = 3$  мкм, II - отклонение от круглости  $\Delta_k = 9$  мкм).

Таким образом, адекватность качественных свойств разработанной модели (3) реальному процессу позволяет рекомендовать полу-

ченное уравнение для разработки математической модели погрешности обработки при бесцентровом наружном шлифовании с учетом кинематических колебаний оси заготовки в зоне резания.

Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей изменения погрешности базирования за один оборот заготовки

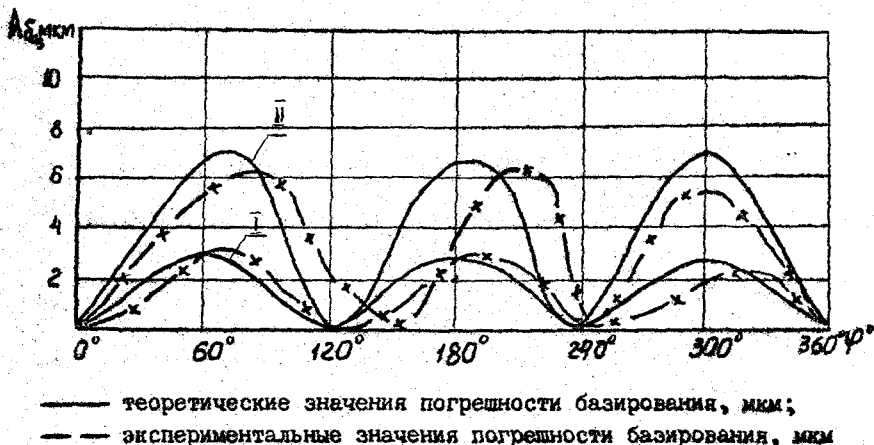


Рис. 2

### 3. Анализ влияния силовых факторов на точность шлифования.

Взаимосвязь режимных параметров автоматических циклов с производительностью и точностью

Из работ Б.С.Балакшина, В.С.Корсакова, А.П.Соколовского известно, что в результате упругих перемещений элементов технологической системы, обусловленных, как правило изменением сил резания, возникает динамическая погрешность обработки.

Для расчета погрешности обработки от упругих перемещений элементов технологической системы был проведен теоретический анализ динамики процесса резания при бесцентровом наружном шлифовании.

Используя методику проф. С.И.Корчака для расчета составляющих сил резания, были получены аналитические зависимости, устанавливающие для бесцентрового шлифования с радиальной и осевой подачами функциональную взаимосвязь составляющих сил резания с режимными параметрами обработки, степенью затупления шлифоваль-

ного круга, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, геометрическими параметрами заготовки, ведущего и шлифовального кругов:

$$P_y = \left( \frac{2\pi R_n \rho_3 G_i \epsilon_i t g \beta}{V_k} - \frac{G_i \eta}{c} \right) \frac{B}{m} \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{2R_k R_n t w_i}{R_k + R_n}}; \quad (4)$$

$$P_z = \left( \frac{2\pi R_n \rho_3 G_i \epsilon_i}{V_k} - \frac{\mu G_i}{c} \right) \frac{B}{m} \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{2R_k R_n t w_i}{R_k + R_n}},$$

где  $P_y$ ,  $P_z$  - радиальная и тангенциальная составляющие силы резания при бесцентровом врезном шлифовании соответственно;  $G_i$  - интенсивность напряжений;  $\epsilon_i$  - интенсивность степени деформаций;  $V_k$  - окружная скорость круга;  $\eta$  - степень затупления шлифовального круга;  $\beta$  - коэффициент, устанавливающий соотношения между  $G_i$  и контактным давлением.

Экспериментальное исследование сил резания по активной мощности шлифования показало, что полученные зависимости (4) адекватно отражают влияние назначаемых режимных параметров обработки на радиальную и тангенциальную составляющие силы резания.

Для расчета упругих перемещений элементов технологической системы, возникающих под действием силы резания, была составлена система дифференциальных уравнений, описывающая движение шлифовального круга, ведущего круга и заготовки в направлении выполняемого размера (радиуса детали). Для тонкостенных заготовок влияние упругих отжимов стенки при перемещении элементов технологической системы учитывалось разработанной аналитической зависимостью вида

$$U_3 = B \cos \varphi + C \sin \varphi + \frac{12r}{\pi E l^3 \rho} \left[ -Q S \left( \varphi - \frac{3\pi}{2} - \beta \right) - N S \times \right. \\ \left. \times \left( \varphi - \delta \right) - P_y S \left( \varphi - \frac{\pi}{2} + d \right) + T U \left( \varphi - \frac{3\pi}{2} - \beta \right) + f N U \left( \varphi - \delta \right) - P_z U \left( \varphi - \frac{\pi}{2} + d \right) \right], \quad (5)$$

где  $U_3$  - радиальное упругое смещение стенки заготовки;  $\varphi$  - угловая координата;  $r$  - радиус заготовки;  $t$  - толщина стенки заготовки;  $l$  - длина заготовки;  $J$  - момент инерции сечения заготовки;  $B$ ,  $C$ ,  $U$  - коэффициенты, зависящие от координат приложения сил.

Для подтверждения разработанной теоретической зависимости

(5) были проведены экспериментальные исследования на специально спроектированном и изготовленном приспособлении, имитирующим зону резания бесцентрового шлифовального станка. Исследования проводили методом спекл-интерферометрии расфокусированного изображения, позволяющим с точностью до 0,001 мм измерять при одном нагружении упругие радиальные перемещения стенки по всему контуру заготовки. Несовпадение расчетных и экспериментальных значений составило в среднем 20%.

В связи с тем, что исходный контур заготовки задавался дискретно, система дифференциальных уравнений решалась численно. Использовалась модификация метода конечных разностей - дискретный метод Ньютона.

Решение системы позволило определить погрешность обработки от упругих перемещений элементов технологической системы. В общем виде погрешность обработки имеет вид

$$A_g = Y_k \cos d + Y_b \cos(d + \delta) + Y_z, \quad (6)$$

где  $Y_k$  - упругие отжимы шлифовального круга;  $Y_b$  - упругие отжимы ведущего круга.

Оценка точности обработки формы поперечного сечения и диаметральных размеров изделия проводилась по контуру поперечного сечения изделия, описанному радиус-векторами, полученными с учетом погрешности базирования и погрешности от упругих перемещений элементов технологической системы.

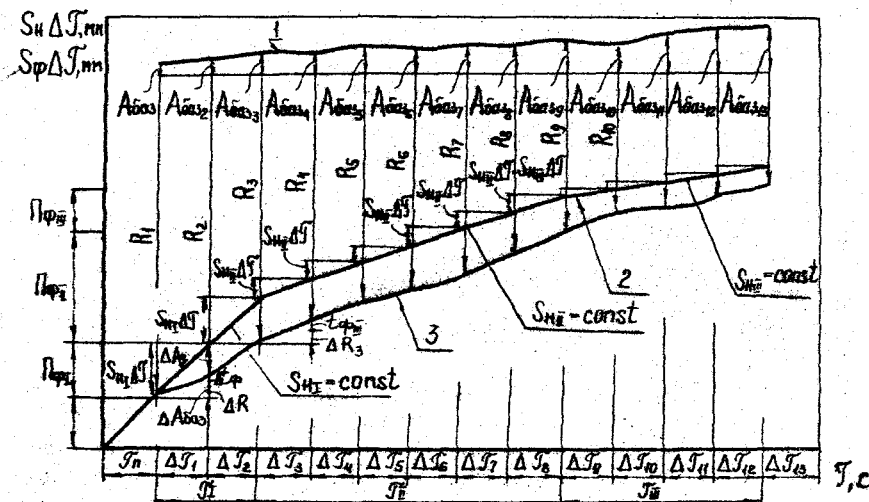
Для установления взаимосвязи режимных параметров автоматических циклов с производительностью и точностью обработки моделировался съем припуска в автоматических ступенчатых циклах бесцентрового наружного шлифования.

В автоматических циклах бесцентрового шлифования с радиальной подачей изменение скорости поперечной подачи производится по командам с прибора активного контроля (ПАКа), т.е. по фактически снятому припуску с заготовки ( $P_p$ ). Величина скорости поперечной подачи на каждой ступени цикла устанавливается и отсчитывается по лимбу привода подачи станка (рис. 3).

Согласно исследованиям П.П.Переверзева, С.Н.Корчака, В.Д.Кульгина и др. из-за упругих свойств технологической системы, нестабильного положения оси заготовки при шлифовании номинальная скорость подачи отлична от фактической, рассчитываемой по измене-

нию радиуса заготовки в процессе обработки.

Схема съема припуска в 3<sup>х</sup> ступенчатом автоматическом цикле бесцентрового шлифования с радиальной подачей



1 - траектория движения оси заготовки; 2 - траектория движения шлифовального круга при номинальной скорости подачи; 3 - траектория движения шлифовального круга при фактической скорости подачи

Рис. 3

Из рис. 3 видно, что на каждой ступени автоматического цикла шлифования за достаточно малый элементарный промежуток времени  $\Delta T$ , в течение которого силы резания и податливость технологической системы можно принять постоянными, взаимосвязь между номинальной и фактической скоростями подачи определяется уравнением

$$\Delta T_{\phi} = S_H \Delta T + \Delta A_{\phi} + \Delta A_{\phi 3} + \Delta R, \quad (7)$$

где  $\Delta A_{\phi}$ ,  $\Delta A_{\phi 3}$  - изменение погрешности обработки от упругих перемещений элементов технологической системы и погрешности базирования за интервал времени  $\Delta T$ ;  $\Delta R$  - изменение радиуса заготовки за интервал времени  $\Delta T$ .

В течение цикла обработки детали припуск, снятый с заготовки,

может быть рассчитан по формуле

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^K (S_{H_i} \Delta T + \Delta A_{q_i} + \Delta A_{\text{обз}_i} + \Delta R_i) + \sum_{L=II}^N (S_{H_L} \Delta T + \Delta A_{q_L} + \Delta A_{\text{обз}_L} + \Delta R_L) + \sum_{L=III}^M (S_{H_L} \Delta T + \Delta A_{q_L} + \Delta A_{\text{обз}_L} + \Delta R_L), \quad (8)$$

где  $S_{H_I}$ ,  $S_{H_{II}}$ ,  $S_{H_{III}}$  — скорости номинальных подач, соответственно на первой, второй и третьей ступенях автоматического цикла.

Производительность автоматического цикла определится суммированием интервалов времени, затраченных при шлифовании на каждой ступени.

На базе уравнений (7) и (8) был составлен алгоритм расчета точности и производительности обработки с учетом изменения режима резания ( $S_H$ ) при съеме заданного припуска ( $P_{\phi}$ ) на каждой ступени автоматического цикла шлифования.

В ходе проведенного теоретического исследования факторов, влияющих на съем припуска в автоматических циклах бесцентрового шлифования с осевой подачей, была получена аналитическая зависимость, устанавливающая функциональную связь режимных параметров цикла с величиной припуска, снятого с заготовки,

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^K \frac{P_{\Gamma} S_0 \Delta T}{2B_{\Gamma}} + \Delta A_{q_i} + \Delta A_{\text{обз}_i} + \Delta R_i + \sum_{L=II}^N \frac{P_{II} S_0 \Delta T}{2B_{II}} + \Delta A_{q_L} + \Delta A_{\text{обз}_L} + \Delta R_L + \sum_{L=III}^M \frac{P_{III} S_0 \Delta T}{2B_{III}} + \Delta A_{q_L} + \Delta A_{\text{обз}_L} + \Delta R_L, \quad (9)$$

где  $P_{\Sigma}$  — припуск, снятый с заготовки за цикл обработки;  $S_0$  — скорость осевой подачи;  $P_{\Gamma}$ ,  $P_{II}$ ,  $P_{III}$  — величина номинального припуска соответственно на I, II и III ступенях цикла обработки;  $B_{\Gamma}$ ,  $B_{II}$ ,  $B_{III}$  — высота шлифовального круга соответственно на I, II и III ступенях цикла обработки.

На основе зависимости (9) был составлен алгоритм расчета производительности и точности обработки при ступенчатом изменении режима резания в течение цикла обработки детали.

Графики сравнения расчетных и экспериментальных значений производительности и точности обработки формы поперечного сечения изделия ( $\Delta n$ ) в 3-ступенчатом цикле бесцентрового шлифования с радиальной подачей в зависимости от величины припуска ( $P_{III}$ ) снимаемого на ступени цикла, приведены на рис. 4. Из графиков видно, что увеличение производительности приводит к снижению точности обработки.

Таким образом, разработанные алгоритмы позволяют на стадии проектирования автоматических циклов бесцентрового наружного шлифования рассчитывать производительность и точность обработки.

Графики сравнения теоретических и экспериментальных значений производительности и точности обработки

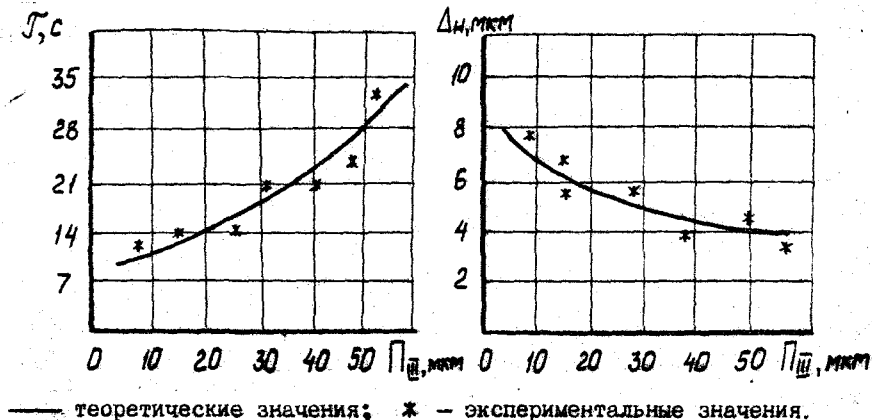


Рис. 4

#### 4. Методика расчетного формирования режимных параметров автоматических циклов шлифования

Рассмотренные выше теоретические основы влияния технологических факторов на точность и производительность бесцентрового наружного шлифования позволили перейти к разработке методики расчетного формирования режимных параметров автоматических циклов шлифования, обеспечивающих наибольшую производительность при заданной точности обработки.

Методика включает в себя следующие основные этапы:

- определение начальных режимных параметров ( $S$ ) и ( $P$ ) автоматического цикла шлифования в зависимости от количества ступеней в цикле, максимально допустимого значения подачи на станке и величины припуска на обработку;
- расчет производительности и точности обработки при начальных режимных параметрах цикла, последовательное изменение начальных параметров на величину дискреты подачи ( $S_{\Delta}$ ) и дискреты припуска ( $P_{\Delta}$ ) при невыполнении заданной точности;
- сравнение производительности обработки при вновь выбранных параметрах цикла и выбор для дальнейшего расчета режимных параметров, обеспечивающих наибольшую производительность цикла шлифования;
- расчет заканчивается при достижении заданной точности.



Для автоматизированного расчета режимных параметров циклов бесцентрового наружного шлифования разработаны алгоритм и программа для ЭВМ СМ-4.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе предложено новое решение актуальной задачи, состоящей в разработке научно обоснованной методики расчетного определения режимных параметров автоматических циклов бесцентрового наружного шлифования, с целью повышения производительности обработки при обеспечении заданной точности.

В работе получены следующие основные результаты:

1. Разработана методика управления скоростью подачи и величиной припуска, снимаемого на различных ступенях цикла шлифования, с целью повышения производительности обработки при обеспечении заданной точности. Данная методика основана на следующих разработках:

- получены аналитические зависимости для расчета колебаний оси заготовки в зоне резания станка в процессе шлифования;

- выведены зависимости, описывающие геометрию зоны контакта шлифовального круга с заготовкой при бесцентровом шлифовании с радиальной и осевой подачами;

- разработаны аналитические зависимости для определения составляющих силы резания в зависимости от режимных параметров обработки и основных технологических факторов, действующих при шлифовании вне зависимости от диапазона их варьирования;

- получены зависимости составляющих погрешности обработки от упругих перемещений элементов технологической системы и от кинематических колебаний оси заготовки в зоне резания.

Эти модели легли в основу разработки нормативных таблиц режимных параметров автоматических циклов шлифования, а также использованы в виде блока САПР технологических процессов.

Основные выводы по работе:

1. Особенности кинематики обработки деталей на операциях бесцентрового наружного шлифования приводят к появлению составляющей погрешности обработки, обусловленной колебаниями оси заготовки в зоне резания. Эта составляющая погрешности обработки зависит от исходной точности формы поперечного сечения заготовки, параметров наладки станка и геометрической формы ведущего круга.

2. нестабильность сил резания при бесцентровом наружном шлифовании приводит к переменным упругим деформациям технологической системы. Разработаны аналитические зависимости для расчета составляющей погрешности обработки от упругих перемещений элементов технологической системы в зависимости от назначаемых режимов резания, податливости технологической системы и исходной точности заготовки.

3. На основе аналитических зависимостей составляющих погрешности обработки от кинематических колебаний оси заготовки и упругих перемещений элементов технологической системы разработаны методика управления точностью в автоматических циклах и нормативные таблицы режимных параметров циклов бесцентрового наружного шлифования. Апробация нормативов в производственных условиях показала, что в среднем расчетные по нормативам циклы шлифования повышают производительность обработки до 30% при обеспечении заданной точности.

4. По разработанной методике определены режимные параметры для настройки автоматической линии, состоящей из 3-х бесцентровых шлифовальных станков с осевой подачей. Годовой экономический эффект от внедрения автоматической линии составил: на левяньском механическом заводе - 193,7 тыс. рублей; на Амурском машиностроительном заводе - 102,8 тыс. рублей.

Годовой экономический эффект от внедрения нормативов режимных параметров автоматических циклов бесцентрового наружного шлифования в промышленность страны составляет 400 тыс. рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Особенности процесса бесцентрового шлифования тонкостенных деталей // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Об.научн.тр.- Челябинск, 1982.-№278.-С.26-29 (Фадюшин С.А.).

2. Бесцентровое шлифование труб в автоматическом цикле // Межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды: Информ.листок.- Челябинск, 1983.-№ 15-83. (Фадюшин С.А.).

3. Особенности настройки бесцентровых шлифовальных станков при обработке тонкостенных деталей // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Об.научн.тр.- Челябинск, 1984.-

4. Бесцентровое шлифование тонкостенных деталей // Пути повышения производительности труда и качества механообработки деталей на предприятиях Урала: Тез. докл. Регион. конф. - Свердловск, 1984. - С. 75-76 (Фадюшин С.А.).

5. Аналитический расчет точности формы поперечного сечения деталей, обработанных методом бесцентрового шлифования // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроении: Межвуз. научн.-техн. сб. - Барнаул, 1985. - С. 63-66 (Фадюшин С.А.).

6. Формирование циклов бесцентрового шлифования с учетом ограничения по точности обработки // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб. научн. тр. - Челябинск, 1986. - С. 75-77 (Фадюшин С.А.).

7. Повышение производительности бесцентрового врезного шлифования за счет организации ступенчатого цикла шлифования // Участие молодых ученых и специалистов в реконструкции и модернизации предприятий, внедрение новой техники и технологии: Тез. докл. обл. конф. - Челябинск, 1986. - С. 35-36.

8. Построение автоматических циклов шлифования на бесцентровых автоматах // Автоматизированное проектирование токарных автоматных операций: Тез. докл. производств.-техн. семинара, 1987. - С. 49-50 (Фадюшин С.А.).

9. Управление точностью обработки в автоматическом цикле бесцентрового наружного шлифования // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб. научн. тр. - Челябинск, 1988. - С. 101-102.

10. Методика построения общемашиностроительных нормативов по выбору параметров автоматических циклов бесцентрового шлифования // Комплексная механизация и автоматизация в машиностроении: Тез. докл. зональн. научн.-техн. конф. - Кемерово, 1987. - С. 38-39 (Фадюшин С.А.).

11. Бесцентровое сквозное шлифование тонкостенных деталей в автоматическом цикле // Комплексная механизация и автоматизация в машиностроении: Тез. докл. зональн. научн.-техн. конф. - Кемерово, 1987. - С. 45-46 (Зорина О.Д., Фадюшин С.А.).

