

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕ-  
РАЦИИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬ-  
НОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи  
УДК 621.787.4

АНТОНОВА  
ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕ-  
ЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ И ФОРМЫ МИКРОРЕЛЬЕФА  
ПОВЕРХНОСТИ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ПНЕВМОЦЕНТРО-  
БЕЖНОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения»

Научный руководитель –  
доктор технических наук, профессор  
Минаков А. П.

Могилёв, 2007

**Работа выполнена в государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»**

Научный руководитель

– доктор технических наук,  
профессор Анатолий Петрович Минаков,  
ГУВПО «Белорусско-Российский университет», кафедра «Технология машиностроения», г. Могилев.

Официальные оппоненты

– доктор технических наук, профессор  
Николай Васильевич Спиридонов, «Белорусский национальный технический университет», кафедра «Технология машиностроения», г. Минск  
– кандидат технических наук, доцент Александр Михайлович Довгалев,  
ГУВПО «Белорусско-Российский университет», кафедра «Металлорежущие станки и инструменты», г. Могилев.

Оппонирующая организация

ГНУ «Физико-технический институт НАН» Республики Беларусь,  
г. Минск

Защита состоится «1» февраля 2008г. в 12.00 на заседании совета по защите диссертаций К 02.18.01 в государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212005, г. Могилев, пр-т Мира, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан «11» февраля 2007г.

**Ученый секретарь**

**совета по защите диссертаций**

**доктор физико-математических наук**

**В.И. Борисов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами и темами.** Тема диссертации включена в план работы кафедры «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета и соответствует приоритетным направлениям в рамках задания 13 Республиканской программы ориентированных фундаментальных исследований «Надежность и безопасность».

Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках научно-исследовательской работы Министерства образования Республики Беларусь по теме «Создание предпосылок и разработка автоматизированной системы искусственного интеллекта управления качеством изделий в машиностроении», ГБ 0135 (2001 г.) № ГР 20011053, время выполнения – с 2001 по 2005 г.

### Цель и задачи исследований

**Целью** работы является разработка методологии прогнозирования и обеспечения требуемой шероховатости (в диапазоне  $Ra\ 1...0,3$  мкм с исходной  $Ra\ 5...2,5$  мкм) и формы микрорельефа поверхности при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий деталей компрессоров и двигателей внутреннего сгорания.

### Задачи:

1. На базе существующих теоретических основ пневмоцентробежной обработки поверхностей отверстий провести энергетический анализ пневмоцентробежных раскатников, позволяющий учесть потери энергии при преобразовании энергии давления сжатого воздуха в энергию смятия микронеровностей, а также установить взаимосвязи между основными конструктивными параметрами инструмента и режимами обработки с шероховатостью и формой микрорельефа поверхности, полученной после обработки;

2. На базе проведенного энергетического анализа инструмента разработать математическую модель процесса и программу расчета, позволяющую обоснованно назначать рациональные режимы обработки и конструктивные параметры раскатников в зависимости от твердости обрабатываемого материала для достижения требуемой шероховатости поверхности и формы микрорельефа;

3. Разработать на базе экспериментальных исследований и математического моделирования конструкцию унифицированного раскатника, провести его опытно-промышленную проверку и исследования по обработке отверстий малого диаметра (до 30 мм);

4. Разработать технологический процесс упрочняющей пневмоцентробежной обработки отверстий деталей компрессоров и двигателей внутреннего сгорания.

*Объектом* исследования являются шероховатость и форма микрорельефа поверхности, обеспечиваемая упрочняющей пневмоцентробежной обработки отверстий.

*Предметом* исследования являются основные факторы, влияющие на шероховатость и форму микрорельефа поверхности при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий, а также их прогнозирование и обеспечение.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Технология финишной упрочняющей обработки отверстий деталей компрессоров и двигателей внутреннего сгорания, заключающаяся в использовании разработанной математической модели процесса пневмоцентробежной обработки отверстий, основанной, на впервые проведенном энергетическом анализе пневмоцентробежных раскатников, определяющая взаимосвязи основных конструктивных параметров инструмента и режимов обработки с шероховатостью и формой микрорельефа поверхности, позволившая снизить трудоёмкость финишной операции при обработке подшипников скольжения на ЗАО «Компрессорный завод» в 5 раз по сравнению с заводской технологией.

2. Методология прогнозирования и обеспечения шероховатости и формы микрорельефа поверхности, позволяющая обоснованно выбирать режимы обработки и конструктивные параметры инструмента, на основе которой создана унифицированная конструкция пневмоцентробежного раскатника, производительность которого по сравнению с однорядным раскатником повысилась в 2,5 раза.

3. Результаты исследований шероховатости и формы микрорельефа, полученные после обработки отверстий опытных образцов, изготовленных из различных конструкционных материалов, пневмоцентробежными раскатниками с различными сочетаниями конструктивных и технологических параметров, установившие, что на шероховатость поверхности наибольшее влияние оказывают давление сжатого воздуха в осевой полости инструмента и подача. При давлении сжатого воздуха 0,15...0,3 МПа и подаче инструмента 90...150 мм/мин обеспечивается шероховатость поверхности Ra 0,3...0,5 мкм с исходной Ra 5...4 мкм. На форму микрорельефа поверхности наибольшее влияние оказывает количество сопел и их расположение в кольцах пневмораскатника. При минимальном расстоянии от оси сопел до оси инструмента и количестве сопел от 4 до 6 обеспечивается получение луночного микрорельефа. При максимальном расстоянии от оси сопел до оси инструмента и количестве сопел 8...12 при применении двухрядного раскатника обеспечивается получение регулярного микрорельефа в виде ромбической сетки. При смещении сопел друг относительно друга в кольцах инструмента шероховатость поверхности уменьшается

до Ra 0,3...0,24 мкм, а относительная опорная длина профиля увеличивается до  $t_{40}$  93 %.

**Личный вклад соискателя.** Опубликованные по теме диссертации работы выполнены автором лично и в соавторстве. Основными соавторами по опубликованным работам являются профессор А.П. Минаков, доценты Н.С. Гарлачов и В.Т. Парахневич.

В опубликованных работах автор решала поставленные задачи, участвовала в теоретических и экспериментальных исследованиях, в формулировке выводов по результатам диссертационной работы. Таким образом, автор лично принимала участие в получении всех научных результатов, представленных в диссертации.

А.П. Минаков оказывал практическую помощь и содействие на всех этапах выполнения настоящей работы. В.Т. Парахневич оказывал содействие в разработке теоретической части работы. Н.С. Гарлачов принимал участие в разработке конструкции опытно-экспериментальной установки для пневмоцентробежной обработки отверстий, а также оказывал содействие в проведении экспериментальных исследований процесса пневмоцентробежной обработки.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения работы были представлены на республиканских научно-технических конференциях «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2004, 2005, 2006), на международных научно-технических конференциях «Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка» (Могилев, 2000), «Создание и применение высокоэффективных наукоёмких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов» (Могилев, 2003).

**Опубликованность результатов.** По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 4 статьи, входящие в перечень изданий для опубликования результатов диссертационных исследований, что соответствует 1,301 авторских листа, или 52040 печатных знаков. Количество других публикаций: 3 статьи в сборниках научных трудов, 1 депонированная работа, 6 тезисов докладов по материалам конференций, 1 патент на полезную модель Республики Беларусь, 4 авторских свидетельства СССР.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 121 страницах машинописного текста, содержит 6 таблиц, 54 рисунка. Состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения и приложений. Список использованных источников включает 77 наименований, список публикаций соискателя – 19 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность научно-технической задачи создания более совершенных технологических процессов, позволяющих управлять шероховатостью поверхности и формой микрорельефа поверхностного слоя при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий.

В связи с этим предлагаемая диссертационная работа посвящена разработке методологии прогнозирования и обеспечения шероховатости (в диапазоне  $Ra\ 2,5 \dots 0,3$  мкм) и формы микрорельефа поверхности при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий деталей компрессоров и двигателей внутреннего сгорания.

Сформулированы цели и задачи исследований, дана общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен анализ традиционных способов финишной обработки. На его основе сделан вывод о перспективности пневмоцентробежной обработки (ПЦО) внутренних цилиндрических поверхностей маложестких деталей.

Показано, что процесс пневмоцентробежной обработки применим для любого типа производства с использованием как специального, так и универсального оборудования, не требует применения СОЖ, так как не происходит нагрева заготовок, обеспечивает упрочнение поверхностного слоя и по сравнению с жестким раскатыванием не увеличивает погрешностей формы, что имеет большое значение при обработке тонкостенных деталей. ПЦО увеличивает производительность обработки по сравнению с виброобкатыванием в два раза. Все это обеспечивает преимущества ПЦО по сравнению с традиционными способами финишной обработки поверхностей отверстий.

Проведенный анализ существующих конструкций пневмоцентробежных раскатников показал, что они имеют ряд недостатков: сложны в изготовлении, не предусматривают возможности изменения отдельных конструктивных параметров для получения различных форм микрорельефов (регулярного микрорельефа в виде ромбической сетки, луночного стохастического микрорельефа и достижения выплаживающего эффекта), способствующих повышению надежности и износостойкости обработанных деталей. Показана необходимость проведения экспериментальных исследований конструкций пневмоцентробежных раскатников для обработки поверхностей отверстий диаметром менее 30 мм и разработки конструкции унифицированного двухрядного раскатника, что позволит устранить указанные недостатки. Применение этой конструкции позволит получать различные формы микрорельефов, сократить время на подготовку производства за счет уменьшения времени на разработку и изготовление инструмента.

Проведен анализ теоретических основ ПЦО деталей, который показал, что в настоящее время отсутствует энергетический анализ пневмоцентробежных раскатников, и на его основании разработана математическая модель процесса ПЦО отверстий и программа расчета, позволяющая выполнять работы по проектированию инструмента и выбору режимов обработки в зависимости от твердости обрабатываемого материала для достижения требуемой шероховатости поверхности и формы микрорельефа с использованием ЭВМ.

Анализ различных конструкций пневмоцентробежных раскатников и методик расчета, приведенный в данной главе, позволил определить направление проведения исследований.

Определены предмет, цель и задачи исследований и их место в разработке данной проблематики.

**Вторая глава** посвящена вопросам установления взаимосвязей основных конструктивных параметров инструмента и режимов обработки с шероховатостью, получаемой после обработки отверстий, на основании проведенного энергетического анализа раскатника и разработке технологии управления шероховатостью и формой микрорельефа на основе создания и использования математической модели процесса ПЦО.

В начале главы проведен энергетический анализ работы пневмоцентробежного раскатника, на основании которого составлен баланс массового расхода воздуха через осевую полость инструмента, сопла, камеру расширения и кольцевой зазор между инструментом и деталью [5].

Суммарная потенциальная энергия сжатого воздуха определяется по формуле:

$$E = E_{ш} + E_{пр} + \Delta E_{пр} + \Delta E_{к} + \Delta E_{с} \quad (1)$$

где  $E_{ш}$  – кинетическая энергия шаров (основная часть ее уходит на обработку заготовки);

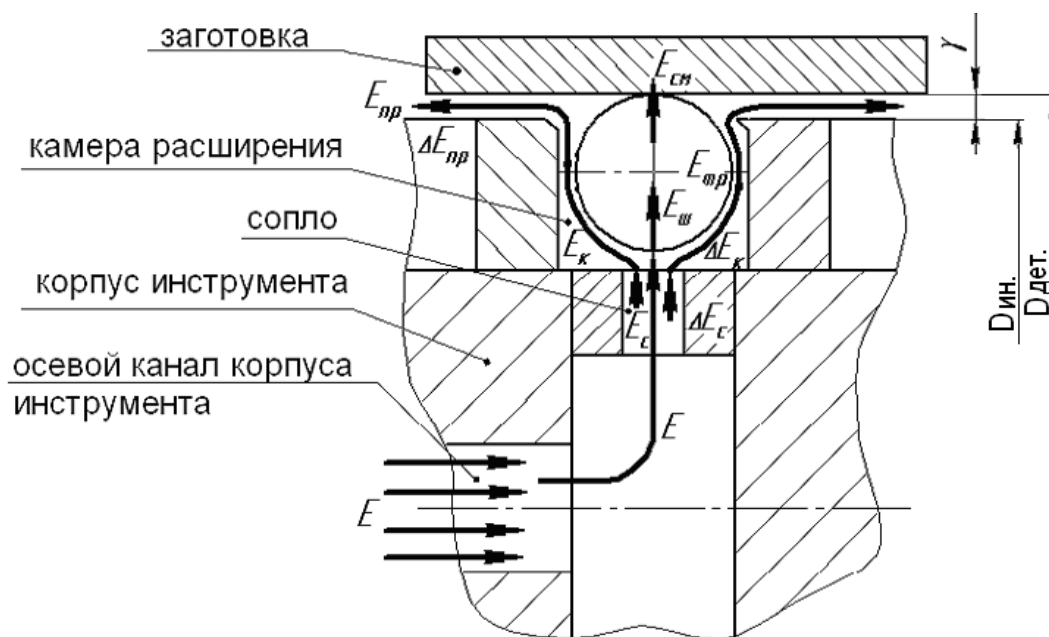
$E_{пр}$  – энергия проталкивания воздуха через кольцевой зазор в атмосферу;

$\Delta E_{пр}$  – потери энергии на преобразование потенциальной энергии в камере в энергию потока сжатого воздуха, выходящего через кольцевой зазор в атмосферу;

$\Delta E_{к}$  – потери энергии в рабочей камере на преобразование энергии струй в потенциальную энергию сжатого воздуха в камере расширения;

$\Delta E_{с}$  – потери энергии на преобразование потенциальной энергии давления сжатого воздуха в кинетическую энергию струй.

На рисунке 1 представлена кинематика потока сжатого воздуха в пневмоцентробежном раскатнике (распределение энергии).



**Рисунок 1 – Кинематика потока сжатого воздуха в пневмоцентричном раскатнике (распределение энергии)**

Характер взаимодействия шаров с обрабатываемой поверхностью будет зависеть:

- от расположения сопел как относительно орбитальной оси вращения шаров, так и относительно оси инструмента (расстояние  $b$  на рисунке 2);
- соотношения диаметра сопел и диаметра шаров (при постоянном подводящем давлении);
- формы и количества сопел.

При максимально допустимом расстоянии  $b$  для рассматриваемой конструкции инструмента тангенциальные составляющие вектора абсолютной угловой скорости и вектора силы, с которой шар воздействует на обрабатываемую поверхность, также имеют максимальное значение.

Выявлены основные параметры, влияющие на работу, совершаемую шарами в камере расширения инструмента.

Суммарная работа, совершаемая шарами при пластической деформации (снятии микронеровностей) поверхностного слоя обрабатываемой заготовки, определяется рядом технологических и конструктивных параметров, таких как давление и подача, диаметры шаров и сопел, их количество.

Получена зависимость, определяющая давление в камере расширения инструмента:

$$P_k = \frac{\mu_c^2 f_c^2 z_c^2 P_i \rho_i}{\mu_3^2 \pi^2 D_{\text{дет}}^2 \gamma^2 \rho_c + \mu_c^2 f_c^2 z_c^2 \rho_i}, \quad (2)$$

где  $\mu_c$  – коэффициент расхода воздуха;



$f_c$  – площадь сечения сопла, м<sup>2</sup>;

$z_c$  – число сопел;

$P_o$  – давление в осевой полости инструмента, Па;

$\rho_o$  – плотность воздуха в осевой полости инструмента, кг/м<sup>3</sup>.

$\mu_3$  – коэффициент расхода воздуха через зазор между деталью и инструментом;

$D_{дет}$  – диаметр обрабатываемой заготовки, м;

$\gamma$  – величина зазора между заготовкой и инструментом, м;

$\rho_3$  – плотность воздуха в зазоре, кг/м<sup>3</sup>.

Получена зависимость, определяющая оптимальную величину радиального зазора между инструментом и обрабатываемой заготовкой:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Q_3^2 \rho_3}{\mu_3^2 P_o}} / (\pi D_{дет}), \quad (3)$$

где  $Q_3$  – расход через зазор между деталью и инструментом, кг/с.

Определена работа, необходимая для смятия микронеровностей с исходной шероховатости поверхности  $Ra_{исх}$  до ее конечного значения  $Ra_k$  в зависимости от твердости обрабатываемого материала:

$$A_{см.м} = \frac{k' HB (Ra_{исх} - Ra_k)}{2(1 - 2\mu)^2 Ra_{исх}}, \quad (4)$$

где HB – твердость обрабатываемого материала;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$k'$  – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала.

Получена зависимость, определяющая работу, совершаемую инструментом для смятия микронеровностей с исходного значения шероховатости до ее конечного значения:

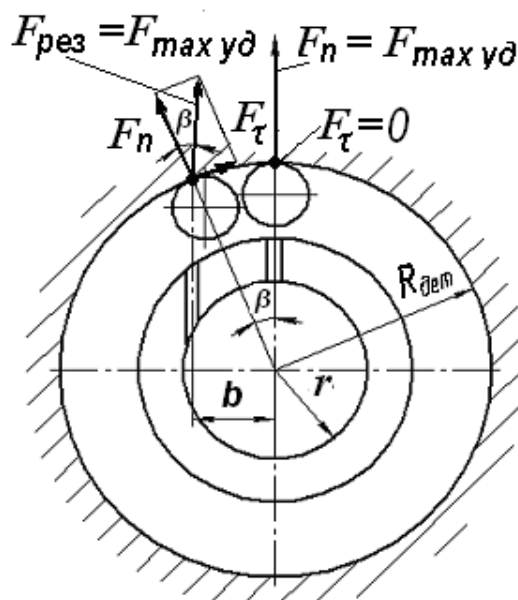
$$\sum A_{ш.инст} = F_{\max уд} l z_{ш}, \quad (5)$$

где  $F_{\max уд}$  – максимальная сила удара шаром, Н;

$l$  – путь, который совершает шар при смятии микронеровностей под действием ударной силы, м;

$z_{ш}$  – количество шаров в инструменте.

Выявлено влияние ориентации сопел относительно оси инструмента на составляющие ударной силы шаров и на частоту их вращения, схема составляющих ударной силы шаров представлена на рисунке 2. Наибольшее влияние на частоту вращения шаров оказывает тангенциальная составляющая скорости.



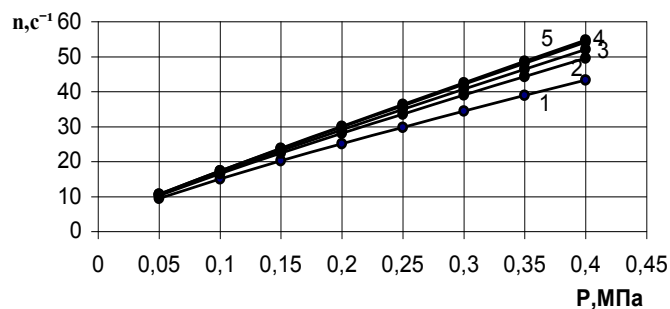
**Рисунок 2 – Влияние ориентации сопел на составляющие ударной силы шаров**

Получена зависимость шероховатости поверхности после обработки шаром от конструктивных и технологических параметров инструмента:

$$Ra_k = Ra_{исх} - \frac{Ra_{исх} \times 2(1 - 2\mu)^2 F_{max\ уд} l z_{ш}}{k' HB}. \quad (6)$$

На основании полученных зависимостей разработана математическая модель процесса ПЦО поверхностей отверстий, согласно которой были проведены расчеты конструктивных и технологических параметров раскатников. (Расчеты осуществлялись с применением программы EXCEL на ЭВМ.) Это позволило выявить влияние конструктивных и технологических параметров на частоту вращения шаров, шероховатость и микрорельеф поверхности после обработки, а также выбирать оптимальные режимы пневмоцентробежной упрочняющей финишной обработки.

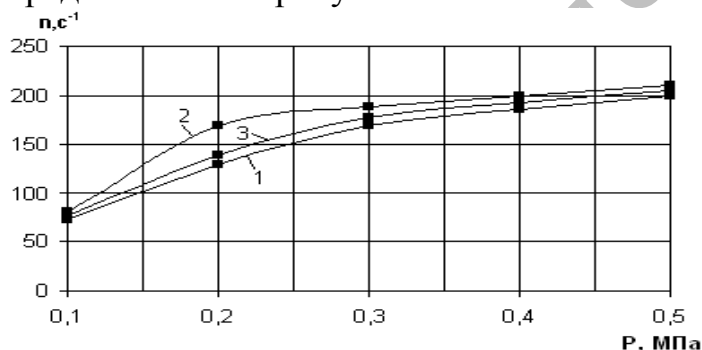
Некоторые результаты моделирования влияния различных конструктивных и технологических факторов на выходные параметры показаны на рисунках 3, 4, 5. На рисунке 3 представлены результаты моделирования влияния давления сжатого воздуха в камере расширения инструмента на частоту вращения шаров при различных значениях зазоров между деталью и инструментом. Из рисунка 3 видно, что с увеличением давления сжатого воздуха частота вращения шаров увеличивается. При увеличении зазора между заготовкой и инструментом до 0,6 мм частота увеличивается (графики 1, 2, 3, 4). При дальнейшем его увеличении до 1,2 мм частота практически не изменяется (график 5). Это необходимо учитывать при выборе режимов обработки и конструировании инструмента.



1 – зазор 0,1 мм; 2 – зазор 0,2 мм; 3 – зазор 0,3 мм; 4 – зазор 0,6 мм; 5 – зазор 1,2 мм

**Рисунок 3 – Зависимость частоты вращения шаров от давления сжатого воздуха при различной величине зазоров между заготовкой и инструментом**

Влияние формы сопел и давления на частоту вращения шаров в рабочей камере инструмента представлено на рисунке 4.

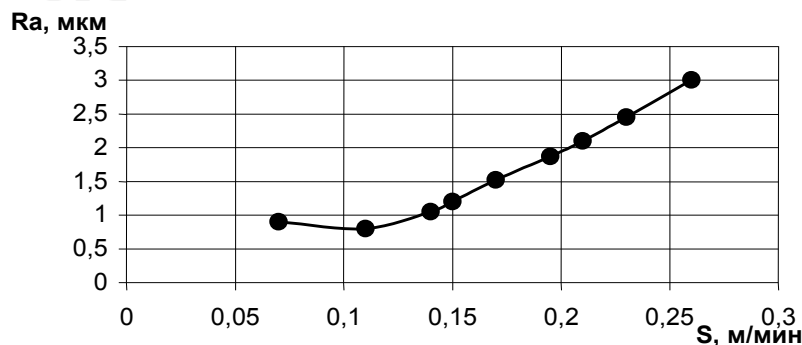


1 – цилиндрические сопла; 2 – конические; 3 – сопла с прямоугольным сечением

**Рисунок 4 – Зависимость частоты вращения шаров от давления сжатого воздуха при различной форме сопел**

Наибольшее значение частота вращения шаров при одном и том же давлении воздуха достигается при использовании конических сопел. Наименьшую частоту обеспечивают сопла цилиндрического сечения.

Зависимость шероховатости от подачи для бронзовых втулок диаметром 23 мм при давлении  $P = 0,2$  МПа, диаметре шаров 5,6 мм, 110...115 НВ представлена на рисунке 5.

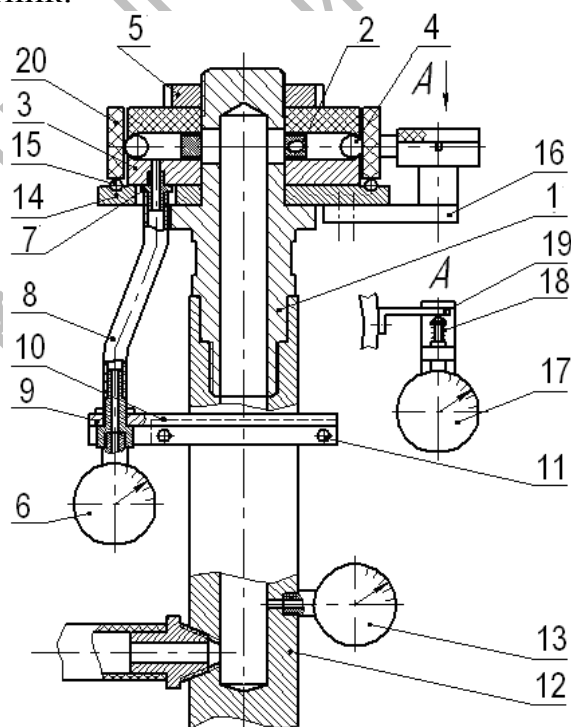


**Рисунок 5 – Зависимость шероховатости от подачи инструмента для бронзовых втулок диаметром 23 мм при давлении 0,2 МПа и диаметре шаров 5,6 мм с твердостью 110...115 НВ, исходной шероховатостью  $Ra_{исх}$  4,7...5 мкм**

Характер кривой показывает, что при увеличении подачи шероховатость уменьшается на определенном интервале, затем начинает увеличиваться. Это связано с тем, что с увеличением подачи работа, совершаемая инструментом, уменьшается, и с определенного значения (это значение зависит от твердости обрабатываемого материала) ее становится недостаточно для смятия микронеровностей, и шероховатость увеличивается. При малой твердости материала и малых значениях подачи инструмент совершает работу большую, чем необходимо для смятия микронеровностей материала, вследствие чего на обрабатываемой поверхности возникает микроволнистость.

**Третья глава** диссертации рассматривает методики измерений и экспериментальных исследований для выявления влияния конструктивных и технологических факторов на энергетические характеристики пневмоцентробежного раскатника.

Для исследования процесса ПЦО – влияния количества, формы и диаметра сопел, зазора  $\gamma$  между обрабатываемой поверхностью и кольцами пневмораскатника на давление в камере расширения, частоту вращения деформирующих шаров, суммарную тангенциальную составляющую результирующих сил от воздействия деформирующих шаров на обрабатываемую поверхность втулки, крутящий момент, возникающий на заготовке, траекторию перемещения шаров в зависимости от давления в осевой полости инструмента была изготовлена экспериментальная установка, общий вид которой представлен на рисунке 6, и универсальный раскатник.



**Рисунок 6 – Экспериментальная установка для исследования процесса ПЦО**

Раскатник, используемый в экспериментальной установке, состоит из корпуса 1, имеющего центральный канал и шесть радиальных пазов, распорной втулки 2, дисков 3, образующих камеру расширения, в которой свободно размещаются деформирующие шары 4, причем один верхний диск выполнен из органического стекла. Все эти детали устанавливаются на корпусе и зажимаются гайкой 5. Инструмент снабжен набором сменных распорных втулок и деформирующими шарами с диаметрами 7,8; 10; 12,7 мм. Это позволило выполнять различные сочетания конструктивных элементов инструмента при проведении экспериментов.

Давление сжатого воздуха измерялось как в центральном канале корпуса, так и в камере расширения с помощью манометров 13, 16.

Различные значения зазоров  $\gamma$  (0,1; 0,3; 0,6 и 1,2 мм) между поверхностью обрабатываемой детали и кольцами инструмента обеспечивались за счет изготовления втулок разного диаметра. Давление в осевой полости корпуса составляло 0,1; 0,2; 0,3 МПа.

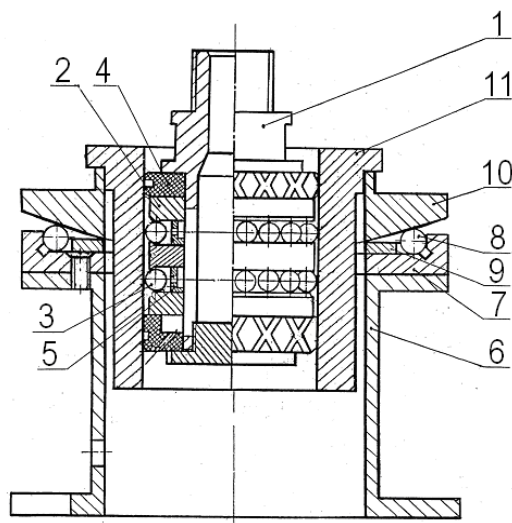
При проведении исследований инструмент крепился в тисках в вертикальном положении. При подаче сжатого воздуха в осевую полость корпуса, воздух через сопла в распорных втулках поступает в камеру расширения, где находятся деформирующие шары, и приводит их во вращение. Вращаясь вокруг оси раскатника, они сминают неровности на обрабатываемой поверхности втулки и приводят ее во вращение, а угольник 19, закреплённый на втулке, в свою очередь, давит на ножку индикатора 17 и перемещает ее. По показаниям индикатора, с помощью тарировочного графика, определялся крутящий момент.

Верхний диск, образующий камеру расширения, и одна обрабатываемая втулка были изготовлены из органического стекла. Это позволило не только измерять частоту вращения деформирующих шаров, но и одновременно фотографировать траекторию перемещения шаров как в плоскости, перпендикулярной оси инструмента (радиальные), так и осциллирующие вдоль оси. Частота вращения шаров измерялась с помощью стробоскопа.

Анализ и оценка функциональных возможностей поверхностей трения, полученных в результате традиционных способов и ПЦО, проводились в соответствии с методикой, изложенной в стандарте DIN 4776. Данный стандарт применяют при определении параметров по кривой Аббота. Эти параметры (ограниченная высота пиков  $R_{pk}$ , глубина микронеровностей  $R_{vk}$ , удельная маслоёмкость  $Q$ ) описывают увеличение материальной составляющей с глубиной микрорельефа и служат для оценки качества обработанных поверхностей.

Приведены методики обработки бронзовых втулок диаметром 45 мм раскатником по а.с. №1687421 и диаметром 23 мм по а.с. № 512043, стальных втулок диаметром 120 мм и 127 мм по а.с. № 1488182, чугунных гильз цилиндров диаметром 110 мм по патенту РБ № 421 и подшипников скольжения из баббита

Б83, а также методики обработки алюминиевых втулок диаметром 23 мм. На рисунке 7 представлены устройство и пневмоцентробежный раскатник для обработки гильз цилиндров.



- 1 – корпус раскатника; 2 – диски; 3 – деформирующие шары; 4 – центрирующие кольца;  
 5 – распорные втулки; 6 – сварной корпус приспособления; 7 – кольцо; 8 – шары;  
 9 – сепаратор; 10 – диск; 11 – обрабатываемая гильза

**Рисунок 7 – Пневмоцентробежный раскатник и устройство для обработки гильз цилиндров**

**В основу четвертой главы** положены экспериментальные исследования и анализ их результатов, позволившие проверить адекватность и значимость математической модели.

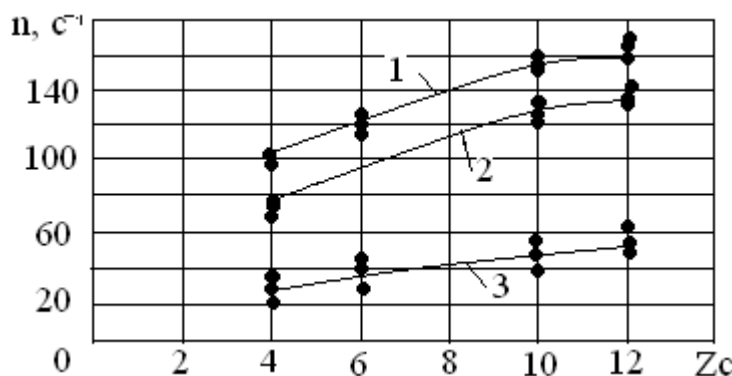
На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что на частоту вращения шаров в рабочей камере инструмента наибольшее влияние оказывают форма и количество, диаметр и расположение сопел, давление в осевой полости инструмента и в меньшей степени – диаметры шаров. Наибольшая частота вращения шаров достигается при использовании конических сопел с углом конуса  $13^\circ$ , расположенных на максимально возможном расстоянии  $b$  (рисунок 2). При уменьшении расстояния  $b$  частота вращения шаров уменьшается, но при этом увеличивается радиальная составляющая силы удара шара об обрабатываемую поверхность, что способствует нанесению луночного микрорельефа.

Установлено, что частота вращения шаров находится в диапазоне от  $25 \text{ с}^{-1}$  до  $130 \text{ с}^{-1}$  в рассматриваемом интервале диаметров заготовок 20...120 мм и диаметров шаров 5...13 мм.

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что для обеспечения луночного микрорельефа на обрабатываемой поверхности конические сопла следует располагать на противоположных торцах друг напротив друга и на наименьшем расстоянии  $b$ , определяющем расположение

оси сопел относительно оси инструмента, при котором происходит вращение деформирующих шаров диаметром 5–8 мм с необходимой частотой. Для обеспечения выглаживающего эффекта обрабатываемых поверхностей конические сопла на противоположных торцах распорных колец следует располагать смещенными друг относительно друга и на максимальном расстоянии  $b$  при увеличенном осевом зазоре между кольцами, образующими камеру расширения.

Влияние давления и количества сопел на частоту вращения шаров представлено на рисунке 8.

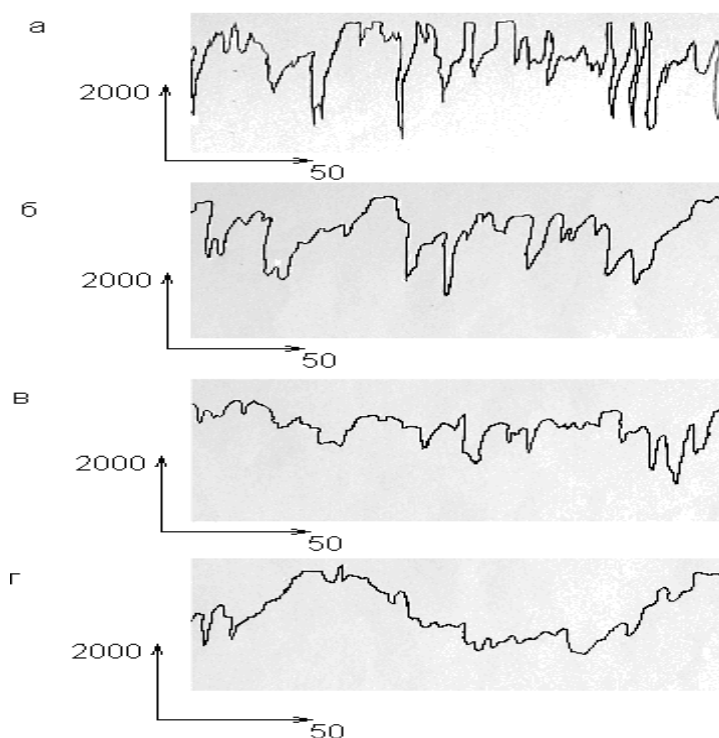


1 –  $P = 0,3$  МПа; 2 –  $P = 0,2$  МПа; 3 –  $P = 0,1$  МПа

**Рисунок 8 – Влияние давления сжатого воздуха и количества сопел на частоту вращения шаров (диаметр заготовки 109 мм, диаметр шаров 10 мм, диаметр сопел 2,5 мм)**

Установлено, что на частоту вращения шаров оказывает влияние радиальный зазор между инструментом и заготовкой. При увеличении зазора уменьшается давление в рабочей камере. Это приводит к уменьшению частоты вращения шаров, что сказывается и на качестве обрабатываемой поверхности. Так, например, при обработке чугунных гильз цилиндров с исходной шероховатостью  $Ra\ 2,2...2,5$  мкм двухрядным пневмоцентробежным раскатником при радиальном зазоре между гильзой и инструментом равным 0,6 мм шероховатость поверхности после обработки составила  $Ra\ 0,8...1$  мкм, давление в осевой полости инструмента не превышало 0,18 МПа. При уменьшении радиального зазора до 0,3 мм давление в осевой полости корпуса инструмента составило 0,22 МПа, а шероховатость поверхности  $Ra\ 0,6...0,7$  мкм. Маслоёмкость  $Q$  составила  $0,024\ \text{мм}^3/\text{см}^2$ , что меньше верхнего уровня  $Q = 0,041\ \text{мм}^3/\text{см}^2$ , установленного техническими требованиями чертежа. Предварительные производственные испытания, проведенные на Минском моторном заводе, показали, что применение пневмоцентробежной обработки уменьшает относительный расход картерного масла на угар на 0,09...0,1 % по сравнению со штатной комплектацией, что соответствует требованиям ТУ23.1365.84, по которой угар масла не должен превышать 0,5 %. Штатные гильзы обеспечивают расход масла на угар 0,31...0,34 %, опытные гильзы – 0,22...0,24 %.

Исследовано влияние подачи инструмента на шероховатость обработанной поверхности. На рисунке 9 представлены профилограммы шероховатости обработанной поверхности однорядным раскатником при различных значениях подачи.



а – исходная шероховатость  $Ra$  2,2 мкм; б –  $Ra$  0,9 мкм при подаче  $S = 160$  мм/мин;  
в –  $Ra$  0,53 мкм при подаче  $S = 100$  мм/мин; г –  $Ra$  0,4 мкм при подаче  $S = 13$  мм/мин

**Рисунок 9 – Влияние подачи инструмента на шероховатость поверхности при давлении сжатого воздуха 0,05 МПа, диаметре шаров 5 мм**

Для смятия неровностей обрабатываемой поверхности шаром необходимо совершить определенную работу. При недостаточно выполненной работе происходит незначительное смятие неровностей (рисунок 9, б), но если выполняемая работа превышает оптимальные значения (при малых значениях подачи), то образуется микроволнистость (рисунок 9, в), что при обработке двухрядным инструментом обеспечивает получение регулярного микрорельефа в виде ромбической сетки.

Для выявления степени влияния некоторых технологических и конструктивных факторов на шероховатость обработанной поверхности была составлена матрица планирования и проведен полнофакторный эксперимент по обработке изделий из стали. В качестве технологического фактора было принято давление в осевой полости инструмента (0,1; 0,2 и 0,3 МПа), а в качестве конструктивных – диаметры сопел (1,5; 2,5 и 3,5 мм) и диаметры шаров (7,8; 12,7 и 10,25 мм). После обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, отражающее степень влияния диаметра сопел, диаметра шаров, давления воздуха в рабочей полости инструмента на шероховатость поверхности:



$$Y = 1,66 - 0,4 X_1 - 0,17 X_2 - 0,6 X_3, \quad (7)$$

где  $X_1$  – кодированное значение диаметра сопел;

$X_2$  – кодированное значение диаметра шаров;

$X_3$  – кодированное значение давления воздуха в осевой полости инструмента.

На основании проведенных экспериментальных исследований было выявлено, что наибольшее влияние на шероховатость поверхности, в указанных интервалах изменения исследуемых факторов, оказывает давление сжатого воздуха в осевой полости инструмента, затем диаметры сопел, и наименьшее влияние оказывает изменение диаметров шаров.

Установлено, что при обработке двухрядным пневмораскатником тонкостенных стальных цилиндров с исходной шероховатостью поверхности Ra 4,6...6 мкм достигается шероховатость Ra 0,3...0,4 мкм, а относительная опорная длина профиля составляет  $t_{50}$  72...90, удельная маслоёмкость обработанной поверхности 0,00506 мм<sup>3</sup>/см<sup>2</sup>.

На основании проведенных экспериментальных исследований подтверждено, что математическая модель процесса пневмоцентробежной обработки поверхностей отверстий, представленная в главе 2, является адекватной и значимой, а систематическая погрешность, вносимая моделью, составляет 6...10 %.

Установлено, что обеспечение заданной формы микрорельефа (луночного, регулярного в виде ромбической сетки, выглаживающего эффекта) при ПЦО отверстий возможно за счет изменения формы, размеров и расположения сопел, а также диаметров деформирующих шаров, что следует учитывать при конструировании инструмента [3, 12, 13].

Установлено, что крутящий момент, возникающий в результате воздействия деформирующих шаров на обрабатываемое изделие в процессе ПЦО, незначителен и находится в пределах от 0,05 до 0,35 Н·м. Наибольшее влияние на крутящий момент оказывает диаметр шаров, наименьшее – давление. Небольшой крутящий момент заготовки в процессе ПЦО позволяет избежать силового воздействия зажимных элементов приспособления, что соответственно упрощает его конструкцию [14].

Установлено, что при обработке двухрядным раскатником повышается производительность процесса в 2,5 раза по сравнению с обработкой однорядным инструментом, обеспечивается получение регулярного микрорельефа в виде ромбической сетки, который увеличивает удельную маслоёмкость поверхности, улучшающую эксплуатационные свойства обработанной поверхности. Так, после обработки стальных цилиндров удельная маслоёмкость увеличилась в 17 раз по сравнению с жесткой раскаткой, что доказывает предпочтительность пневмоцентробежной обработки для подшипников скольжения и гильз цилиндров [6, 7, 9].

Впервые показана возможность ПЦО отверстий диаметром менее 30 мм. Так, после обработки алюминиевых и бронзовых заготовок диаметром 23 мм, пневмораскатником (а. с. № 1761452 СССР) при исходной шероховатости поверхности Ra 4,7...5 мкм была достигнута шероховатость Ra 0,3...0,5 мкм и Ra 0,1 мкм соответственно. Исследования по обработке цветных металлов проведены впервые. Впервые показана возможность ПЦО отверстий подшипников, изготовленных из баббита, обеспечивающая регулярный микрорельеф в виде ромбической сетки. При подаче инструмента 0,45 мм/об и частоте вращения заготовки  $500 \text{ с}^{-1}$  шероховатость поверхности составила Ra 0,6 мкм [18, 19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. На основании проведенного энергетического анализа пневмоцентробежного раскатника разработана методология прогнозирования и обеспечения шероховатости и формы микрорельефа поверхности, позволяющая обоснованно выбирать режимы обработки и конструктивные параметры инструмента и реализующий ее технологический процесс упрочняющей пневмоцентробежной обработки отверстий [2, 4].

2. На основании расчетов, выполненных на ЭВМ по программе, составленной согласно разработанной математической модели ПЦО отверстий, и результатов экспериментальных исследований установлено, что на шероховатость поверхности наибольшее влияние оказывают давление сжатого воздуха в осевой полости и подача инструмента. Так, при давлении сжатого воздуха 0,15...0,3 МПа и подаче 90...150 мм/мин обеспечивается шероховатость поверхности Ra 0,3...0,5 мкм с исходной Ra 5...4 мкм. Установлено, что на форму микрорельефа наибольшее влияние оказывает количество сопел и их расположение. Так, при минимальном расстоянии от оси сопел до оси инструмента, при котором происходит вращение шаров вокруг оси инструмента, и количестве сопел от 4 до 6 обеспечивается получение луночного микрорельефа. При максимальном расстоянии от оси сопел до оси инструмента и количестве сопел 8...12 при применении двухрядного раскатника обеспечивается получение регулярного микрорельефа в виде ромбической сетки. При смещении сопел в кольцах, образующих камеру расширения инструмента, возникают осциллирующие движения вдоль оси обрабатываемой заготовки, что способствует уменьшению шероховатости поверхности до Ra 0,3...0,24 мкм и увеличению относительной опорной длины профиля до  $t_{40} 93 \%$  [1, 3, 6, 7, 10, 11].

3. Впервые показана возможность ПЦО отверстий подшипников, изготовленных из баббита, обеспечивающая регулярный микрорельеф в виде ромбической сетки. Так, при подаче инструмента 0,45 мм/об и частоте вращения заготовки  $500 \text{ с}^{-1}$  шероховатость поверхности составила Ra 0,6 мкм [18, 19].

4. Установлено, что при пневмоцентробежной обработке отверстий крутящий момент, возникающий на обрабатываемом изделии при воздействии на него деформирующих шаров, незначителен и находится в пределах от 0,05 до 0,35 Н·м, что позволяет исключить силовое воздействие зажимных элементов станочного приспособления, упростить его конструкцию, исключить деформацию заготовки и рекомендовать ПЦО для обработки нежестких заготовок [14].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Пневмоцентробежные раскатники следует рекомендовать для финишной упрочняющей обработки поверхностей отверстий диаметром 20 мм и более [6, 9, 11].

2. Для повышения производительности процесса и улучшения эксплуатационных свойств обрабатываемой поверхности отверстий подшипников скольжения и гильз цилиндров упрочняющую финишную обработку рекомендуется производить двухрядным унифицированным пневмоцентробежным раскатником, позволяющим использовать один и тот же корпус инструмента со сменным набором распорных втулок. Сочетание конструктивных элементов распорных втулок позволяет обеспечивать различные микрорельефы обрабатываемой поверхности (луночный, регулярный в виде ромбической сетки). Применение двухрядного пневмоцентробежного раскатника обеспечивает повышение производительности процесса обработки в 2,5 раза по сравнению с однорядным. Упрочняющую финишную обработку поверхностей отверстий малого диаметра (20...30 мм) рекомендуется проводить инструментом по а.с. № 1761452 СССР [3, 6, 18, 19].

3. Разработанную математическую модель процесса пневмоцентробежной обработки отверстий рекомендуется использовать при выборе конструктивных параметров раскатников и назначении оптимальных режимов обработки для достижения требуемой шероховатости и формы микрорельефа обработанной поверхности [2, 4].

4. Регулировать требуемую шероховатость поверхности рекомендуется изменением подачи и давления сжатого воздуха в осевой полости корпуса инструмента. Рекомендуется выбирать давление в диапазоне 0,1...0,4 МПа, а подачу – в зависимости от твердости обрабатываемого материала [4].

5. Внедрение разработанной методологии, позволяющей прогнозировать и обеспечивать требуемую шероховатость и форму микрорельефа поверхности при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий, а также унифицированного пневмоцентробежного раскатника на ЗАО «Компрессороремонтный завод» позволяет снизить трудоёмкость финишной операции при обработке подшипников скольжения в 5 раз, сократить затраты на электроэнергию в 35 раз, исключить использование смазочно-охлаждающих жидкостей и полу-

чить годовой экономический эффект 5,6 млн рублей в год при серийности 50 подшипников в день [19].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. **Антонова, Е.Н.** Обработка изделий из бронзы пневмоцентробежным раскатником / Е.Н. Антонова // Вестник МГТУ. – 2006. – № 1. – С. 10–13.

2. **Парахневич, В.Т.** Энергетический анализ пневмоцентробежного шарикового раскатника / В.Т. Парахневич, Е.Н. Антонова // Вестник МГТУ. – 2006. – № 1. – С. 188–192.

3. **Гарлачов, Н.С.** Влияние конструктивных и технологических факторов на частоту вращения шаров пневмоцентробежного раскатника / Н.С. Гарлачов, Е.Н. Антонова // Вестник МГТУ. – 2006. – № 1. – С. 41–44.

4. **Гарлачов, Н.С.** Методика определения работы, совершаемой пневмоцентробежным раскатником при обработке внутренних цилиндрических поверхностей / Н.С. Гарлачов, Е.Н. Антонова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 1. – С. 76–81.

5. **Антонова, Е.Н.** Инструмент для обработки отверстий методом ПВДО / Е.Н. Антонова // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. университета. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2005. – С. 69–72

6. **Антонова, Е.Н.** Обработка внутренних поверхностей тел вращения двухрядным пневмоцентробежным раскатником / Е.Н. Антонова // Сборник научных трудов членов Международной Балтийской Ассоциации машиностроителей : сб. науч. тр. университета. – Калининград : Калининградский гос. техн. ун-т, 2005. – № 5. – С. 59–61.

7. **Минаков, А.П.** Обработка изделий из чугуна пневмоцентробежным раскатником / А.П. Минаков, Н.С. Гарлачов, Е.Н. Антонова // Сборник научных трудов членов Международной Балтийской Ассоциации машиностроителей : сб. науч. тр. университета. – Калининград : Калининградский гос. техн. ун-т, 2005. – № 5. – С. 62–64.

8. **Минаков, А.П.** Поисковые исследования режимов и конструктивных параметров инструмента пневмоцентробежной обработки внутренних поверхностей вращения чугунных деталей / А.П. Минаков, Е.Н. Антонова; Акад. управления при Президенте Республики Беларусь. – Вып. 4 (15). – Минск, 2000. – 102 с. : – Деп. В Бел ИСА 23.01.00, № Д 20005.

9. **Минаков, А.П.** Пневмовибродинамическая обработка тонкостенных цилиндров / А.П. Минаков, Е.Н. Антонова // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка. – Могилев: МГТУ, 2000. – С. 86.

10. **Антонова, Е.Н.** Исследование маслостойкости поверхности тонкостенных цилиндров при пневмовибродинамической обработке / Е.Н. Антонова //

Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : МГТУ, 2001. – С. 16.

11. **Антонова, Е.Н.** Пневмовибродинамическая обработка чугунных тонкостенных деталей / Е.Н. Антонова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы респуб. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2004. – С. 16.

12. **Антонова, Е.Н.** Частота вращения шаров при пневмоцентробежной обработке / Е.Н. Антонова, А.М. Кисленков, Р.А. Судаков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы респуб. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2004. – С. 17.

13. **Антонова, Е.Н.** Влияние конструктивных параметров на частоту вращения шаров пневмораскатника / Е.Н. Антонова, А.М. Кисленков, Р.А. Судаков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы респуб. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2005. – С. 17.

14. **Антонова, Е.Н.** Влияние конструктивных и технологических факторов на крутящий момент втулки при ее обработке пневмоцентробежным раскатником / Е.Н. Антонова, А.М. Кисленков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы респуб. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2006. – С. 19.

15. **А. с. 1470494 СССР, А2 В 24 В 39/02.** Инструмент для чистовой обработки тел вращения методом пластической деформации / А.П. Минаков, Н.С. Гарлачов, Е.Н. Горлачева, В.Н. Леушкин (СССР). – № 4118483/31–27; заявл. 05.06.86; опубл. 07.04.89, Бюл. № 13. – 3 с.

16. **А. с. 1488182 СССР, А2 В 24 В 39/02.** Инструмент для упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей / А.П. Минаков, Н.С. Гарлачов, Е.Н. Горлачева (СССР). – №4207823/31–27; заявл. 10.03.87; опубл. 23.06.89, Бюл. № 23. – 2 с.

17. **А. с. 1687421 СССР, А2 В 24 В 39/02.** Инструмент для упрочняющей обработки цилиндрических отверстий методом пластической деформации / А.П. Минаков, Н.С. Гарлачов, Е.Н. Горлачева, В.В. Нетесин, В.Н. Бетхер, Е.Н. Кантарович (СССР). – № 4756292/27; заявл. 04.11.89; опубл. 30.10.91, Бюл. № 40. – 3 с.

18. **А. с. 1761452 СССР, А2 В 24 В 39/02.** Инструмент для упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей / А.П. Минаков, Н.С. Гарлачов, О.В. Ящук, Е.Н. Горлачева, В.В. Нетесин (СССР). – № 4754020/27–27; заявл. 30.10.89; опубл. 15.09.92, Бюл. № 34. – 5 с.

19. **Пат. 421 РБ, В 24 В 39/02.** Инструмент для обработки цилиндрических отверстий методом пластической деформации / Н.С. Гарлачов, Е.Н. Антонова; заявитель и патентообладатель Гарлачов Николай Семенович, Антонова Елена Николаевна. – № 20010148; заявл. 14.06.01; опубл. 30.12.01. – 4 с.

## РЭЗІЮМЭ

Антонана Алена Мікалаеўна

Прагназіраванне і тэхналагічнае забеспячэнне шурпатасці і формы мікрарэльефа паверхні пры ўмацоўваючай пнеўмацэнтрабежнай апрацоўцы паверхняў адтулін

**Ключавыя словы:** пнеўмацэнтрабежная апрацоўка (ПЦА), пнеўмацэнтрабежны раскатнік, сапло, дэфарміруючыя шары, камера расшырэння, шурпатасць паверхні, маслаёмістасць паверхні, мікрарэльеф, канструктыўныя і тэхналагічныя параметры, матэматычная мадэль.

**Мэтай** работы з'яўляецца распрацоўка метадалогіі прагназіравання і забеспячэння неабходнай шурпатасці (у дыпазоне Ra 1...0,3 мкм пры зыходнай Ra5...2,5 мкм) і формы мікрарэльефа паверхні пры ўмацоўваючай пнеўмацэнтрабежнай апрацоўцы адтулін дэталей кампрэсараў і рухавікоў унутранага згарання.

### Метады даследавання

Даследаванне ўплыву канструктыўных і тэхналагічных фактараў на энергетычныя характарыстыкі раскатніка праводзілася на эксперыментальнай устаноўцы, якая дазваляе забяспечыць розныя спалучэнні канструктыўных і тэхналагічных параметраў. Апрацоўка паверхняў адтулін выконвалася раскатнікамі па аўтарскіх пасведчаннях СССР і патэнту РБ. Распрацаваная метадыка вымярэнняў і эксперыментальных даследаванняў, заснаваная на выкарыстанні вымяральных прыбораў з хібнасцю вымярэння, не перавышаючай  $\pm 2\%$ , дазволіла з дастатковай ступенню дакладнасці зрабіць вывад аб атрыманых выніках даследаванняў.

Асноўныя вынікі атрыманы шляхам матэматычнага мадэліравання і эксперыментальных даследаванняў. Асноўныя залежнасці матэматычнай мадэлі працэсу пнеўмацэнтрабежнай апрацоўкі атрыманы на аснове праведзенага энергетычнага аналізу інструмента, асноўных законаў пнеўматыкі і механікі. Пацверджана, што распрацаваная матэматычная мадэль працэсу пнеўмацэнтрабежнай апрацоўкі адтулін з'яўляецца адэкватнай і значымай, а сістэматычная хібнасць, унасімая мадэллю, складае 6...10 %.

Распрацаваная тэхналогія ўмацоўваючай пнеўмацэнтрабежнай апрацоўкі адтулін і ўніфіціраваная канструкцыя інструмента дазваляюць прагназіраваць і забяспечваць неабходную шурпатасць (у межах Ra 1...0,3 мкм пры зыходнай Ra 5...2,5 мкм) і форму мікрарэльефа паверхні, аўтаматызаваць праектныя работы пры распрацоўцы новых канструкцый інструментаў і назначэнні рэжымаў для апрацоўкі дэталей з канструкцыйных матэрыялаў з рознай цвёрдацю. Гэта дазваляе скараціць затраты на падрыхтоўку вытворчасці пры вырабе інстру-

ментаў розных тыпаў і памераў, павысіць прадукцыйнасць, і палепшыць эксплуатацыйныя характарыстыкі паверхневага слоя.

Электронная бібліотека  
Белорусско-Российского университета

## РЕЗЮМЕ

Антонова Елена Николаевна

Прогнозирование и технологическое обеспечение шероховатости и формы микрорельефа поверхности при упрочняющей пневмоцентробежной обработке поверхностей отверстий

**Ключевые слова:** пневмоцентробежная обработка (ПЦО), пневмоцентробежный раскатник, сопла, деформирующие шары, камера расширения, шероховатость поверхности, маслоёмкость поверхности, микрорельеф, конструктивные и технологические параметры, математическая модель, прогнозирование.

**Целью** работы является разработка методологии прогнозирования и обеспечения требуемой шероховатости (в диапазоне Ra 1...0,3 мкм с исходной Ra 5...2,5 мкм) и формы микрорельефа поверхности при упрочняющей пневмоцентробежной обработке поверхностей отверстий деталей компрессоров и двигателей внутреннего сгорания.

### Методы исследования

Исследование влияния конструктивных и технологических факторов на энергетические характеристики раскатника проводилось на экспериментальной установке, позволяющей обеспечить различные сочетания конструктивных и технологических параметров. Обработка поверхностей отверстий выполнялась раскатниками по авторским свидетельствам СССР и патенту РФ. Разработанная методика измерений и экспериментальных исследований, основанная на использовании измерительных приборов с погрешностью измерения, не превышающей  $\pm 2\%$ , позволила с достаточной степенью достоверности судить о полученных результатах исследований.

Основные результаты получены путем математического моделирования и экспериментальных исследований. Основные зависимости математической модели процесса пневмоцентробежной обработки получены на основании проведенного энергетического анализа инструмента, основных законов пневматики и механики. Подтверждено, что разработанная математическая модель процесса пневмоцентробежной обработки поверхностей отверстий является адекватной и значимой, а систематическая погрешность, вносимая моделью, составляет 6...10 %.

Разработанная технология упрочняющей пневмоцентробежной обработки отверстий позволяет прогнозировать и обеспечивать требуемую шероховатость (в пределах Ra 1...0,3 мкм при исходной Ra 5...2,5 мкм) и форму микрорельефа поверхности, автоматизировать проектные работы по разработке новых конструкций инструментов и назначению режимов для обработки деталей из конструкционных материалов с различной твердостью. Это позволяет сократить затраты на подготовку производства при изготовлении инструментов различных типоразмеров, повысить производительность и улучшить эксплуатационные характеристики поверхностного слоя.



## RESUME

Antonova Elena Nikolaevna

Forecasting and technological maintenance of roughness and the form of the microrelief of a surface at strengthening pneumocentrifugal processing surfaces of apertures

**Key words:** pneumocentrifugal processing, pneumocentrifugal roller, nozzles, deforming spheres, the chamber of expansion, roughness of a surface, oil capacity of surfaces, microrelief, constructive and technological parameters, mathematical model, technology, forecasting.

**The purpose** of the work is development of methodology of forecasting and maintenance of the required roughness (in range Ra 1...0,3 microns with initial Ra 5...2,5 microns) and forms of the microrelief of the surface at strengthening pneumocentrifugal processing surfaces of apertures of details of compressors and engines of internal combustion.

### **Methods of research**

The research of the influence of constructive and technology factors on power characteristics of a roller has been carried out at the experimental installation which has allowed to carry out the research with various combinations of design parameters. Processing of the apertures has been carried out by the rollers the under copyright certificates of the USSR and patent the of the Republic of Belarus. The developed methods of measurement technique and the experimental research based on the use of measuring devices with the margin error measurement not exceeding  $\pm 2$  %, has allowed to judge with sufficient degree of reliability about the received results of the research.

The basic results of the research have been received in the result of the mathematical modelling and experimental research. The basic dependences of the mathematical model of the process of pneumocentrifugal processing have been received on the basis of the power analysis of the tool, basic laws of pneumatics and mechanics. It is confirmed that the developed mathematical model of the process of pneumocentrifugal processing of the surfaces of apertures is adequate and significant, and the systematic error made by the model makes 6...10 %.

The developed technology of strengthening pneumocentrifugal processing of apertures allows to predict and provide the required roughness (in the limits of Ra 1...0,3 microns at initial Ra 5...2,5 microns) and the form of the surface microrelief to automate design works on the development of new designs of tools and purpose the modes for processing details made of constructional materials of various hardness. It allows to reduce expenses for preparation of production, manufacturing tools of various standard sizes, to raise the productivity and to improve performance of the superficial layer.

АНТОНОВА ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ И ФОРМЫ  
МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ  
ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ**

05.02.08 - Технология машиностроения

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 03.12.2007 г. . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 1,63 . Уч.-изд. л. . Тираж 75 экз. Заказ № 902

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ № 02330/375 от 29.06.2004 г.  
212005, г. Могилев, пр. Мира, 43