

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

УДК 676:621.9.042

ЛОГВИН ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА  
ОБРАБОТКИ НАБИВНЫХ БУМАЖНЫХ ВАЛОВ  
СУПЕРКАЛАНДРОВ ЧАШЕЧНЫМИ РЕЗЦАМИ**

Специальность 05.02.08  
«Технология машиностроения»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Могилев 2007

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

Научный руководитель	кандидат технических наук, профессор Жолобов Александр Алексеевич ГУВПО «Белорусско-Российский университет» кафедра «Технология машиностроения», г. Могилев
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Мрочек Жорж Адамович БНТУ, кафедра «Технология машиностроения», г. Минск кандидат технических наук Лебедев Владимир Яковлевич ФТИ НАН, заведующий лабораторией Физики поверхностных явлений, г. Минск
Оппонирующая организация	Полоцкий Государственный университет г. Новополоцк.

Защита диссертации состоится « 01 » февраля 2008 г. в \_\_\_ на заседании совета по защите диссертаций К 02.18.01 при Белорусско-Российском университете 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 « 30 » декабря 2007 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
доктор физико-математических  
наук, профессор

В.И. Борисов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Научные исследования по теме диссертации совпадают с приоритетными направлениями фундаментальных научных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы «Надежность и безопасность машин и технических систем». Они проводились в рамках хозяйственных договоров: №2–90 «Изготовление, исследование и внедрение чистовой обработки набивных бумажных валов суперкаландра при капитальном ремонте», выполняемого Молодежным Центром «Эврика» с Выборгским ЦБК; творческого сотрудничества ГУВПО «Белорусско-Российский университет» с ООО «ИлимСеверРМП», при выполнении которых автор диссертации являлся ответственным исполнителем.

**Цель и задачи исследования.** Целью настоящей работы является повышение производительности и качества рабочих поверхностей набивных бумажных валов суперкаландров (НБВС) на базе новой технологии обработки чашечными резцами с обновляющейся кромкой, исключая операцию шлифования. Поставленная цель обуславливает решение следующих задач:

–разработать конечно-элементную модель вала для выбора оптимальных параметров процесса обработки, обеспечивая виброустойчивость технологической системы с целью повышения производительности за счет увеличения скорости резания и подачи;

–разработать методики определения упругой деформации обрабатываемого материала, коэффициентов трения и сил, действующих на рабочие поверхности режущего элемента при обработке НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой для повышения точности обработки;

–разработать методику и получить зависимости для выбора оптимальных геометрических параметров чашечных резцов с обновляющейся кромкой при обработке НБВС с целью уменьшения шероховатости обработанной поверхности;

–выявить особенности влияния динамики процесса обработки НБВС на виброустойчивость технологической системы для выбора оптимальной скорости обновления режущей кромки при изменении геометрии чашечного резца с обновляющейся кромкой и технологических режимов в сравнении с невращающимися (заторможенными) и самовращающимися резцами;

–определить влияние температуры в зоне резания на изменение структуры поверхностного слоя НБВС, увеличение шероховатости и остаточной ворсистости обрабатываемых валов при изменении геометрии чашечного резца и технологических режимов обработки, а также воздействие указанных факторов на стойкость режущего элемента;

–разработать способ обработки НБВС, имеющих прогиб под действием собственной массы и конструкции чашечных резцов с обновляющейся кромкой, обеспечивающих повышение производительности и исключают операцию шлифования;

–обосновать экономическую эффективность выполненных исследований и разработок, освоить технологию в производстве.

Объектом исследования является технология обработки НБВС, применяемых в бумажной промышленности при производстве бумаги с высокими печатными свойствами. В роли предмета исследований выступают технологические приемы управления процессом обработки НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой для обеспечения параметров качества при повышении производительности.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

Разработанные методики:

–компьютерного конечно-элементного моделирования НБВС для выбора оптимальных параметров процесса обработки, благодаря чему обеспечивается виброустойчивость технологической системы при повышении производительности обработки до 2 раз за счет скорости резания в диапазоне 5...14 м/с;

–определения упругой деформации материала обрабатываемого вала, отличающаяся поочередным внедрением режущего элемента в обрабатываемый материал с замером величины хорды угла контакта и хорды отпечатка непосредственно перед рабочим ходом, позволяющая учитывать величину упругой деформации материала при статической настройке технологической системы и повысить точность обработки до 20 %;

–определения коэффициентов трения и сил, действующих на рабочие поверхности режущего элемента чашечного резца, работающего по второй геометрической одноповоротной прямой схеме ротационного резания при обработке неметаллических материалов, отличающаяся разделением составляющих силы резания по рабочим поверхностям режущего клина при уменьшении толщины среза с отключением подачи дважды, при совмещении вершины режущего элемента и точки выхода вспомогательной режущей кромки из обработанной поверхности с правым торцом заготовки, позволяющая производить выбор оптимальных параметров геометрии чашечного резца с обновляющейся кромкой и технологических режимов для повышения производительности обработки НБВС до 10 раз за счет увеличения подачи в диапазоне 1...3 мм/об;

–определения геометрических параметров чашечных резцов с обновляющейся кромкой при обработке НБВС для выбора оптимальных значений углов и площадок контакта режущего элемента с заготовкой по передней и задним поверхностям, отличающаяся тем, что позволяет учитывать величину упругой деформации материала для уменьшения шероховатости и остаточной ворсистости до 30 %, что снижает более чем на 50% время прикатки НБВС на суперкаландре.

Результаты экспериментальных исследований доказывают, что:

–при обработке длинномерных НБВС, вследствие затупления режущего элемента, динамические нагрузки к концу рабочего хода самовращающимся и заторможенным резцами возрастают до 30 %, а обработка чашечным резцом с обновляющейся кромкой в диапазоне скорости обновления  $1,4 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$  м/с позволяет стабилизировать величину составляющих силы резания на протяжении всего рабочего хода, благодаря неизменности геометрии рабочих поверхностей режущего элемента в пределах угла контакта, что повышает точность обработки до 20 %;

–формирование фаски износа при обработке НБВС чашечными резцами с

обновляющейся кромкой, работающих по второй геометрической прямой одноповоротной схеме ротационного резания происходит на передней поверхности режущего элемента и величина ее равна глубине резания;

–обработка НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой позволяет уменьшить до 30 % шероховатость и остаточную ворсистость обработанной поверхности в сравнении с самовращающимися;

–применение второй геометрической прямой одноповоротной схемы ротационного резания для чистовой обработки НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой позволяет обеспечить в продольном сечении бочкообразность обработанной поверхности в пределах поля допуска шестого качества и шероховатость по параметру Ra не более 1,2 мкм.

Конструкции чашечных резцов, основанных на механических и гидравлических приводах, реализующих принцип обновления режущей кромки и обеспечивающих управление величиной фаски износа режущего элемента за счет изменения скорости обновления, что повышает точность обработки до 20 %.

**Личный вклад соискателя.** Автором работы разработаны основные положения диссертации. В совместных с научным руководителем работах соискатель принимал участие в разработке основной идеи и подготовке материалов к публикации. Являясь ответственным исполнителем, участвовал в выполнении НИР по теме диссертации.

**Апробация результатов диссертации.** Отдельные положения предлагаемой работы докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции «Разработка и промышленная реализация новых механических и физических методов обработки» в МВТУ им. Н.Э. Баумана (1988г.), на второй Всесоюзной научно-технической конференции «Ресурсо-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машино- и приборостроении» (г. Нальчик, 1991г.), на восьмой Международной научно-технической конференции по инструментам (г. Мишкольц, Венгрия, 1994г.), на Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» в Белорусско-Российском университете (2006г.), на Международной научно-технической конференции «MECHANICS 2006» (г. Рчешков, Польша, 2006), на Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» в Белорусско-Российском университете (2007г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 21 печатных работах, в том числе в семи статьях, включенных в перечень ВАК (7,4 а.л.), трех материалах международной научно-технической конференции (1,9 а.л.), пяти сборниках тезисов на конференциях (1 а.л.). Общее количество опубликованного материала – 10,3 а.л. Кроме этого, основные результаты диссертации включены в два отчета по НИР. Получено два авторских свидетельства на изобретения и два патента на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из титульного листа, оглавления, введения, общей характеристики работы, основной части, включающей 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего список использованных источников из 130 наименований и списка публикаций соискателя из 21 наименований, 6 приложений. Диссертация содержит 134 страницы

основного текста, 87 рисунков. Объем приложений – 37 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, даны общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ литературных данных по теме диссертации. Представлено назначение, характеристика и особенности изготовления НБВС. Исходя из назначения исследуемых валов, показаны их конструктивные особенности и требования, предъявляемые к ним по точности геометрической формы в продольном сечении, параметрам качества рабочих поверхностей и твердости поверхностного слоя. Проведен анализ существующих технологий обработки НБВС, выявлены их преимущества и недостатки. Рассмотрены предпосылки использования чашечных резцов с обновляющейся кромкой для обработки НБВС. Установлено, что повышение производительности механической обработки резанием с одновременным улучшением эксплуатационных показателей обработанных деталей обеспечивает ротационное резание, которое значительно расширяет область применимости существующих инструментальных материалов. Высокая эффективность ротационного резания доказана в работах акад. АН БССР Е. Г. Коновалова, М. Ф. Пашкевича, И. Л. Тараканова, Ж. А. Мрочка, Г. Ф. Шатурова, В. А. Сидоренко, Ю. А. Сидоренко, М. С. Прохоренко, А. В. Соуся, В. Я. Лебедева, М. Л. Хейфеца, Н. Н. Попка и др.

Анализ динамики при обработке различных материалов ротационными инструментами дается в работах В. Ф. Боброва и Д. Е. Иерусалимского, В. А. Землянского и Ю. Ф. Гранина, Л. К. Кучмы и А. Е. Адама, Н. С. Кушнера, А. В. Руднева, Л. В. Оганесяна и В. С. Сидорова, М. Ф. Пашкевича, Б. Ф. Петропавловского, В. А. Сидоренко, А. В. Соуся, Г. Ф. Шатурова и др. исследователей. При этом указывается, что основным их преимуществом является высокая стойкость, а износ режущего элемента происходит преимущественно по задней поверхности.

А. И. Исаев и Г. С. Андреев получили экспериментальную зависимость стойкости от скорости вращения резца, характер которой совпадает с характером кривой «температура–скорость вращения резца», полученной расчетным путем А. Н. Резниковым. В дальнейшем Г. С. Андреев пришел к выводу, что увеличение стойкости ротационных инструментов происходит, с одной стороны, за счет увеличения длины режущей кромки, а с другой, – за счет снижения температуры в зоне резания.

Л. П. Поздняковым доказано, что при обработке заготовок из стали 45 и роторов электродвигателей эффект вращения ротационного резца является отрицательным по показателю удельной стойкости (стойкости, отнесенной к единице длины режущей кромки).

М. Аромаки исследовал изменение температуры в самовращающемся ротационном резце при обработке НБВС с внешним охлаждением, влияние его на подшипниковый узел и обработанную поверхность. При этом не проводилось

исследований по стойкости режущих элементов с непрерывным обновлением режущей кромки при обработке НБВС.

Сочетание в процессе ротационного резания снижения относительного скольжения в контакте инструмента с деталью и периодичность участия в процессе резания отдельного участка режущего лезвия без прерывания этого процесса обеспечивает создание большого резерва для повышения эффективности обработки резанием. Для обработки стальных заготовок и магнитопроводов электродвигателей, а также рабочих поверхностей НБВС в Физико-техническом институте АН БССР Г. Ф. Шатуровым, Л. П. Поздняковым и А. С. Бухтиловым были разработаны шаговые резцы, основанные на периодической работе режущего лезвия.

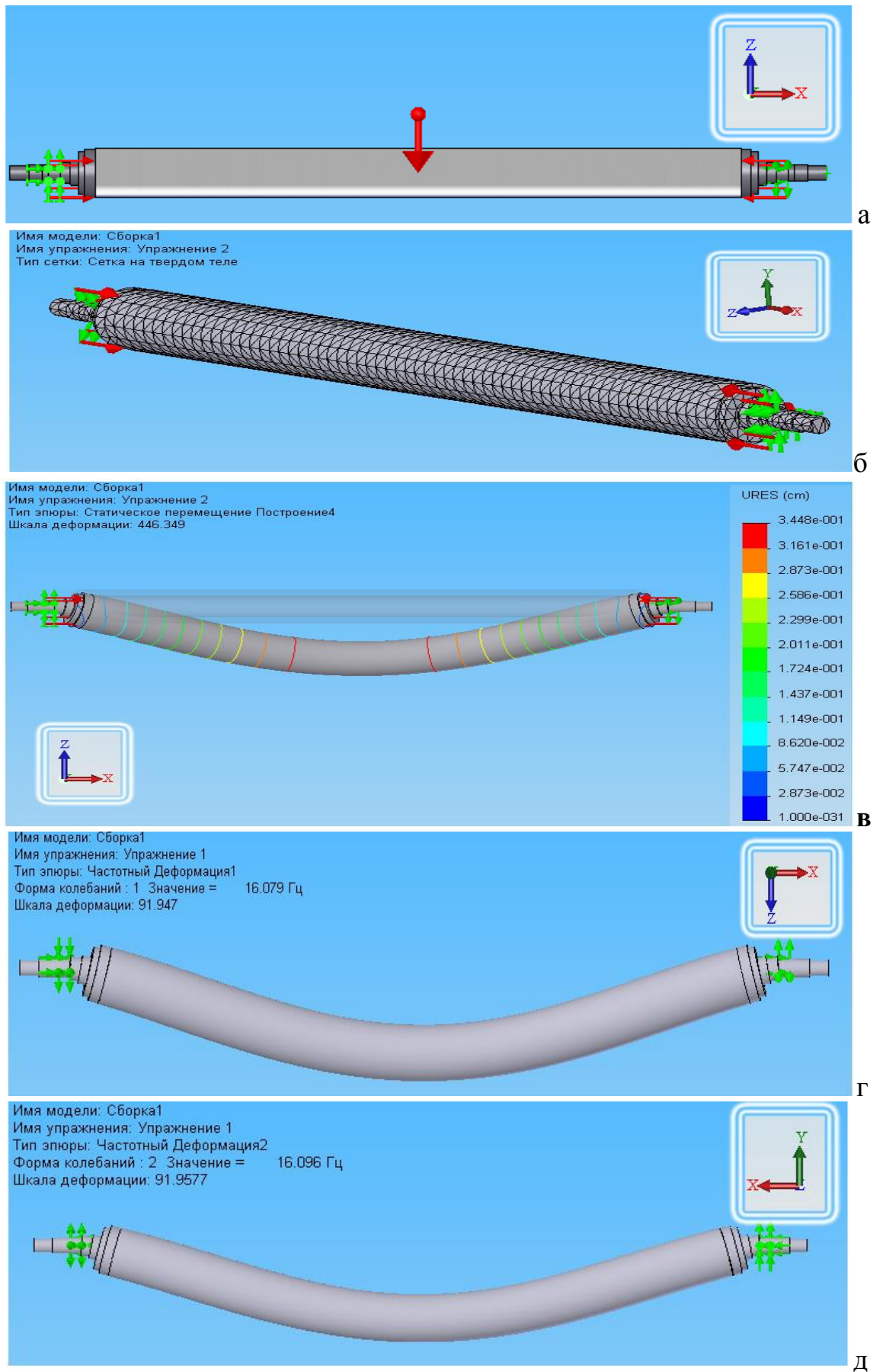
Исходя из вышесказанного, применение для обработки НБВС резцов с непрерывным обновлением режущей кромки может повысить производительность, точность и уменьшить шероховатость рабочих поверхностей.

**Во второй главе** дается описание компьютерной конечно-элементной модели НБВС (рисунок 1, а, б) для определения величины прогибов (рисунок 1, в), собственных частот, форм колебаний, деформаций и перемещений при критических частотах обрабатываемого вала в зависимости от его конструктивных особенностей для выбора оптимальных параметров процесса обработки, благодаря чему обеспечена виброустойчивость технологической системы при повышении производительности обработки до 2 раз за счет скорости резания в диапазоне 5...14 м/с.

По результатам расчетов конечно-элементной модели вала с диаметром 720 мм и длиной 8620 мм результирующее перемещение под действием силы тяжести равно 3,45 мм. Адекватность модели оценивали, сопоставляя данные эксперимента, по которым прогиб равнялся 3,1 мм. Согласно статистической обработке, погрешность расчетных значений составляет 9,9...11%. Определение собственных частот и форм колебаний НБВС показало, что критическими являются формы колебаний, обеспечивающие наибольший размах вала на станке в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рисунок 1, г, д), и частота 16,079 Гц. Адекватность модели подтверждена экспериментально при помощи двух индикаторов с ценой деления 0,01 мм, величина размаха составила в вертикальной плоскости 0,12 мм, а в горизонтальной плоскости – 0,18 мм при угловой частоте вала 16,7467 рад/с, что соответствует 160 мин<sup>-1</sup> или 2,667 Гц.

Для определения упругой деформации материала НБВС разработана методика, по которой производится внедрение чашечного резца в заготовку на глубину  $t_1$  и измеряется хорда контакта резца с заготовкой  $L_{к1}$ . Затем чашечный резец отводится от заготовки, и производится измерение хорды следа (отпечатка)  $L_{с1}$ , оставленного чашечным резцом на заготовке. Перед вторым этапом измерений заготовка поворачивается на угол, достаточный, чтобы при внедрении чашечного резца в заготовку не происходило перекрытие предыдущего следа контакта с последующим. Данные действия производятся несколько раз, а величина упругой деформации материала определяется по формуле

$$\delta = L_{к2}t_1 / L_{к1} - L_{с1}t_2 / L_{с2}. \quad (6)$$



**Рисунок 1 – Компьютерная схема НБВС и результаты расчета**

Определение геометрических параметров чашечного резца при обработке



выполнено с учетом упругой деформации материала НБВС применительно ко второй геометрической прямой схеме ротационного резания в инструментальной системе координат при сечении системы «заготовка – резец» плоскостью, совпадающей с плоскостью расположения режущей кромки (рисунок 2). В результате получено сечение  $E - E$ , в котором эллипсы являются заготовкой, а окружность радиуса  $r$  – режущей кромкой чашечного резца.

Для определения координат точек пересечения режущей кромки (окружности) с заготовкой (эллипсы) в зависимости от величины заглабления составлены системы уравнений вида:

$$\begin{aligned} \frac{(x-W)^2}{A_1^2} + \frac{(y-H)^2}{B_1^2} &= 1; \\ x^2 + y^2 &= r^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $r$  – радиус режущей кромки;  $A_1 = (R + t) / \sin\varphi_y$ ,  $B_1 = (R + t) / \cos\beta_y$  – большая и малая полуоси эллипса заготовки;  $R$  – радиус детали;  $t$  – глубина резания;  $\varphi_y$  – угол установки резца в горизонтальной плоскости;  $\beta_y$  – угол установки резца в вертикальной плоскости;  $W$ ,  $H$  – координаты центра эллипса в главной системе координат  $YOX$ , совпадающей с инструментальной системой координат для чашечного резца.

В результате решения таких систем определены координаты точек пересечения ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $M$ ) режущей кромки и заготовки, а также получены зависимости для определения углов контакта режущего элемента чашечного резца с заготовкой

$$\begin{aligned} \theta_p &= \arctg(y_a/x_a) - \arctg(y_d/x_d), \quad \theta_y = \arctg(y_d/x_d) + \arctg(y_b/x_b); \\ \theta &= \arctg(y_a/x_a) + \arctg(y_b/x_b), \quad \theta_r = \arctg(y_a/x_a) - \arctg(y_m/x_m); \\ \theta_b &= \arctg(y_b/x_b) + \arctg(y_m/x_m). \end{aligned} \quad (2)$$

Конфигурация пятна, по которому осуществляется упругопластическое взаимодействие задней поверхности и заготовки, представляет собой поверхность, которая отсекается на задней конической поверхности с углом у основания конуса  $\alpha_3$  режущего элемента. Границы этой поверхности отсекаются цилиндрической поверхностью, состоящей из поверхности детали и поверхности сопряжения между поверхностью заготовки и поверхностью детали.

Площадь ее определяется как двойной интеграл по поверхности, имеющей проекцию на плоскость  $XOY$

$$S = \iint_{(p)} \sqrt{1 + (Z'_x)^2 + (Z'_y)^2} dx dy. \quad (3)$$

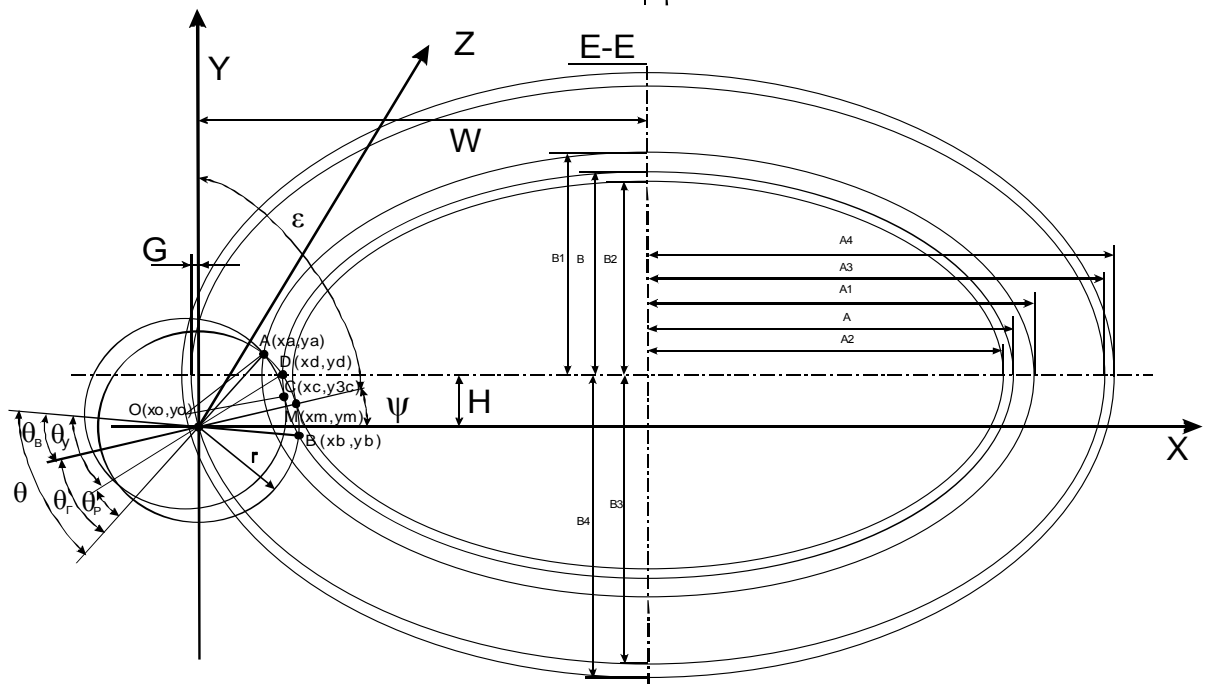
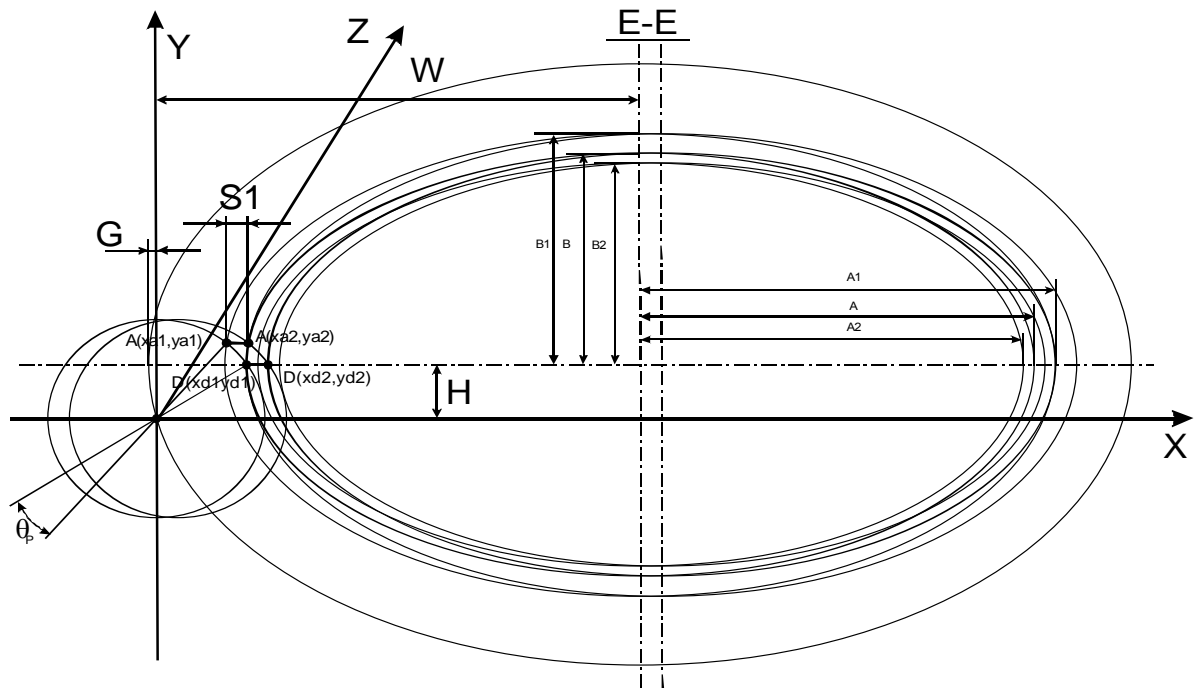
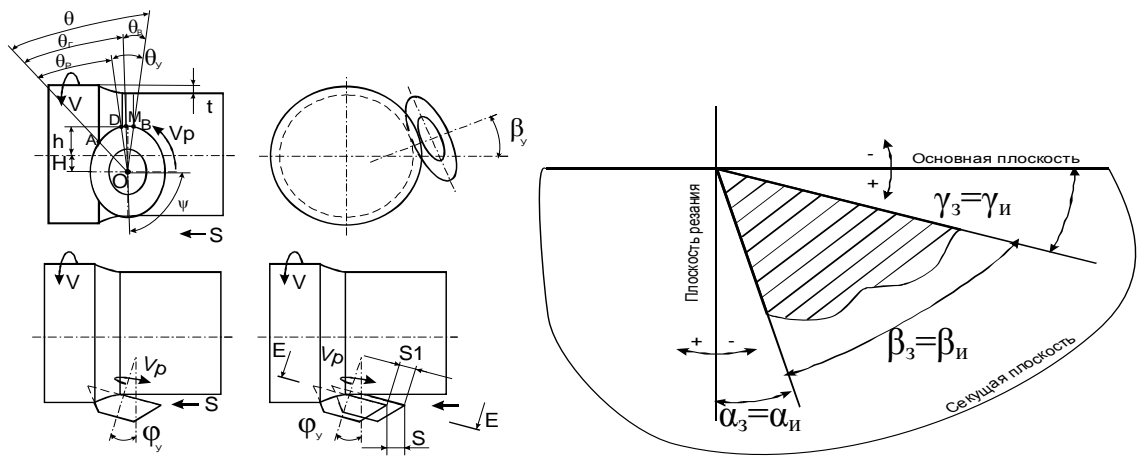


Рисунок 2 – Схемы и система координат для чашечного резца при обработке

В результате подстановок и проведенных преобразований получена формула для вычисления площади пятна контакта задней поверхности режущего элемента с заготовкой в процессе обработки резанием

$$S = \frac{1}{\cos \alpha_3} \int_{y_b}^{y_c} dy \int_{W + \frac{A}{B} \sqrt{B^2 - (y-H)^2}}^{\sqrt{r^2 - y^2}} dx + \frac{1}{\cos \alpha_3} \int_{y_c}^{y_d} dy \int_{x_o + \sqrt{r^2 - (y-y_o)^2}}^{\sqrt{r^2 - y^2}} dx . \quad (4)$$

Форма и площадь контакта заготовки с передней поверхностью чашечного резца представляет оболочку, отсеченную на конической поверхности режущего элемента с углом у основания ( $\alpha_3 + \beta_3$ ) цилиндрической поверхностью заготовки (рисунок 2).

В результате подстановок, произведенных преобразований и упрощений для определения пятна контакта получена формула (5)

$$S = \frac{1}{\cos(\alpha_3 + \beta_3)} \int_{y_d}^{y_a} dy \int_{\sqrt{r^2 - y^2}}^{S_1 + \sqrt{r^2 - y^2}} dx . \quad (5)$$

В результате исследований полученных зависимостей установлено, что с увеличением подачи и глубины резания пропорционально увеличивается площадь среза. Увеличение диаметра режущей кромки приводит к уменьшению площади среза, а с увеличением переднего угла заточки она возрастает. Параметры установки чашечного резца относительно заготовки на площадь среза оказывают наименьшее влияние.

Особенностью условий обработки чашечными резцами по второй геометрической прямой схеме ротационного резания является большой угол контакта режущего элемента с заготовкой, при этом главная и вспомогательная режущие кромки плавно переходят друг в друга через вершину (наиболее заглубленную точку М режущей кромки).

Для определения сил и коэффициентов трения на рабочих поверхностях разработана методика, согласно которой определяются отдельные составляющие силы резания при уменьшении толщины срезаемого слоя. Измерение сил на задней поверхности осуществляется дважды: первый раз при совмещении вершины резца с плоскостью правого торца заготовки, второй раз при совмещении внешней точки вспомогательной режущей кромки с плоскостью этого же торца. Направление и скорость вращения чашечного резца во время обработки и при измерении сил поддерживаются неизменными.

Экспериментально установлено, что с ростом величины скорости обновления режущей кромки происходит уменьшение всех составляющих силы резания. Однако увеличение скорости более чем  $V_p = 5 \cdot 10^{-5}$  м/с нежелательно, так как протяженность режущей кромки ограничена периметром, равным длине окружности режущей кромки, и ее должно быть достаточно для осуществления рабочего хода с неизменными параметрами геометрии режущего клина чашечного резца и величины составляющих силы резания.

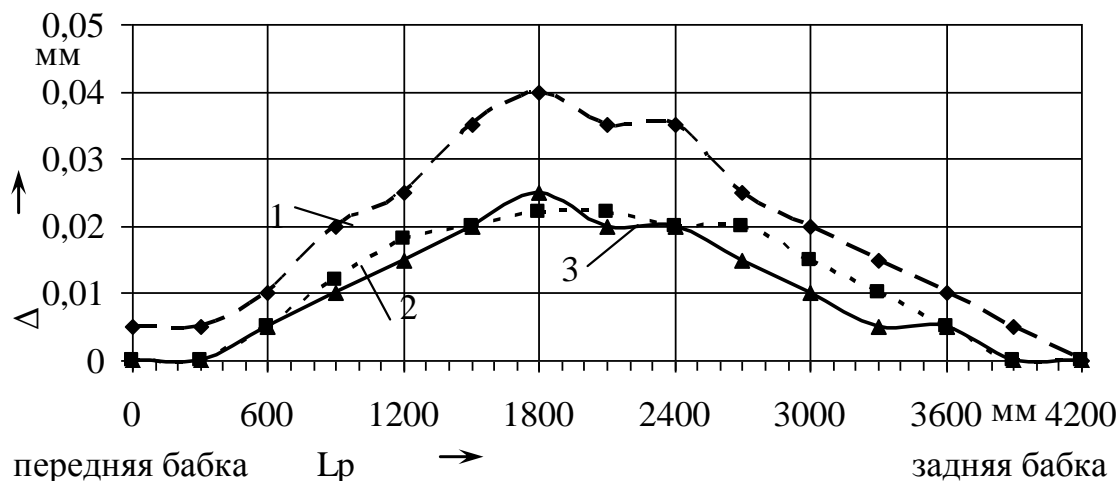
**В третьей главе** проведен анализ экспериментальных исследований изменения температуры в зоне резания при обработке НБВС чашечными заторможенными и самовращающимися резцами и влияние ее на свойства поверхностного слоя НБВС, а также выявлены особенности кинетики износа режущего элемента чашечного резца с обновляющейся кромкой. Ввиду неэлектропроводности и особой физической структуры обрабатываемого материала, набранного из отдельных листов хлопкошерстяной бумаги, исследования по определению температуры в зоне резания выполнялись по методу искусственной, впаянной в режущий элемент термопары. Следует отметить, что данный способ позволяет определять максимальную температуру в зоне резания, величина которой влияет на сохранение первоначальных свойств материала набивки. В качестве датчика использовалась хромель–копелевая термопара из проволоки диаметром 0,2 мм, а в режущем элементе прожигался канал. Результаты исследований показали, что температура  $Q$  при обработке самовращающимся чашечным резцом в 1,7 раза ниже, чем при обработке заторможенным резцом.

В результате измерения фаски износа в пределах угла контакта режущего элемента с заготовкой по которому происходит образование и сход стружки путем профилографирования установлено, что износ двух рабочих поверхностей режущего элемента чашечного резца с обновляющейся кромкой происходит равномерно по длине режущего лезвия. Передняя поверхность изнашивается сильнее из-за превышения скорости скольжения стружки по передней поверхности над скоростью перемещения задней поверхности режущего клина по обрабатываемой поверхности вала вследствие предварительного напряженного состояния набивки. Угол фаски износа на передней поверхности режущего элемента на выходе из зоны резания принимает нулевые значения, а ширина ее равна глубине резания.

**В четвертой главе** представлен анализ экспериментальных исследований отклонений диаметральных размеров и точности геометрической формы НБВС в продольном сечении (рисунок 3). В исследованиях применялся метод диаметральных измерений, который широко используется на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. Сравнительные исследования, проведенные в ООО «ИлимСеверРМП» при обработке НБВС алмазным точением, шлифованием и чашечными резцами с обновляющейся кромкой, показали преимущество последнего (рисунок 3).

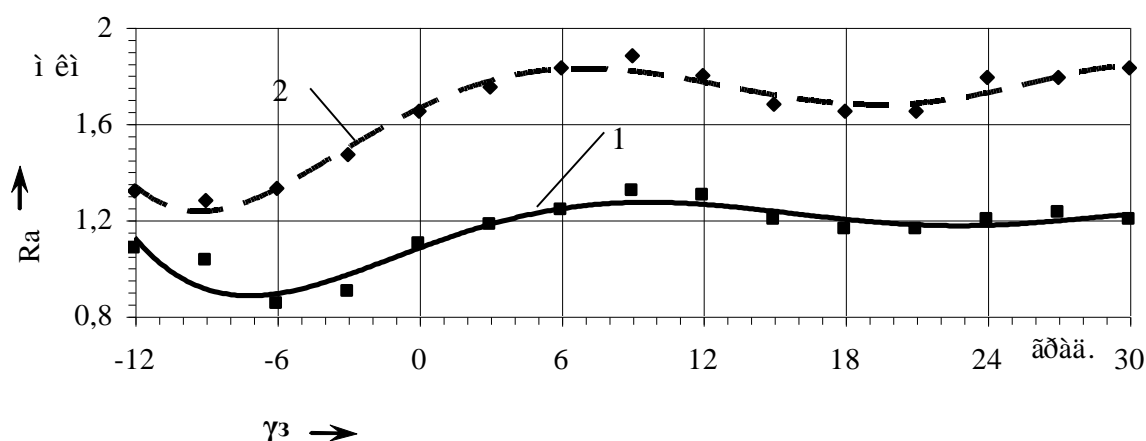
Обработка производилась в центрах на токарно-винторезном станке типа ТСГ-125/12Мх15000 (ПОРЕБА, Польша) НБВС диаметром 570 мм и рабочей длиной 4410 мм алмазным резцом на режимах:  $V = 4,78$  м/с,  $t = 0,4$  мм,  $S = 0,25$  мм/об; чашечным резцом с обновляющейся кромкой на режимах:  $V = 4,75$  м/с,  $t = 0,5$  мм,  $S = 0,85$  мм/об; шлифование производилось на режимах:  $S_{\text{прод}} = 8$  мм/об детали,  $t = 0,005$  мм/дв. ход,  $V_{\text{д}} = 41,2$  м/мин,  $V_{\text{к}} = 1,2$  м/с и продолжалось 32 часа непрерывно.

Шероховатость по параметру  $R_a$  и остаточная ворсистость рабочих поверхностей НБВС исследовались при обработке алмазным точением, шлифованием абразивными кругами, чашечными заторможенными, самовращающимися и резцами с обновляющейся кромкой.



**Рисунок 3 – Графическое отображение отклонений диаметральных размеров НБВС в пределах длины обработки**

Результаты экспериментальных исследований влияния величины и знака переднего угла заточки  $\gamma_z$  режущего элемента на шероховатость обработанной поверхности показали, что обработка НБВС чашечными резцами с отрицательными передними углами из диапазона  $-9^\circ \dots -3^\circ$  позволяет обеспечивать шероховатость поверхности на 22...25% меньше, чем обработка с положительными передними углами из диапазона  $15^\circ \dots 21^\circ$  (рисунок 4).



1 – заторможенный резец; 2 – самовращающийся резец

**Рисунок 4 – Графическое отображение изменений шероховатости поверхности от переднего угла заточки  $\gamma_z$ :  $V = 8,2$  м/с;  $S = 1,025$  мм/об;  $t = 0,5$  мм;  $H = 30$  мм;  $\varphi_y = 0,5^\circ$ ;  $\alpha_3 = 15^\circ$ ;  $d_4 = 60$  мм**

В результате сравнительных экспериментальных исследований по обработке НБВС алмазными и чашечными резцами с обновляющейся кромкой, а также шлифованием абразивными кругами без использования охлаждающих жидкостей в производственных условиях установлено, что наибольшую стабильность значений шероховатости поверхности по параметру Ra и остаточной ворсистой в пределах длины обработки обеспечивает обработка чашечными резцами с обновляющейся кромкой. Величина остаточной ворсистой в результате обработки НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой не превышает величины шероховатости.

Доказано, что применение чашечных резцов с обновляющейся кромкой позволяет повысить производительность механической обработки до 10 раз при снижении шероховатости обработанной поверхности по сравнению с алмазным точением до 3 раз.

**В пятой главе** представлен способ обработки НБВС, имеющих прогиб из-за массивности и большой длины, позволяющий обеспечивать в продольном сечении отклонения формы вала в пределах поля допуска шестого качества точности на токарном оборудовании без его модернизации.

Разработаны новые конструкции резцов, реализующих возможность обновления режущей кромки в процессе обработки НБВС, защищенных патентами Республики Беларусь, и приведена их экономическая эффективность.

В результате внедрения в 1990 году на Выборгском ЦБК чашечного резца с обновляющейся кромкой положительный экономический эффект составил более 87 тысяч советских рублей при годовом объеме выпуска 450 валов. В 2006 году чашечный резец с обновляющейся кромкой и способ обработки прошли успешное испытание на ООО «ИлимСеверРМП» и были внедрены для обработки НБВС, что позволило получить годовой экономический эффект в сумме более 1,8 миллиона российских рублей при годовом объеме выпуска в 140 валов. При этом сократилось время рабочего хода в 10 раз при повышении точности обработки на токарном оборудовании. Шероховатость обработанной поверхности уменьшилась в два раза и составила по параметру Ra = 0,8...1,0 мкм.

В приложении приведены копии актов внедрения на Выборгском ЦБК и ООО «ИлимСеверРМП», подтверждающие эффективность разработок.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Основные научные результаты диссертации.** Разработаны методики:

– компьютерного конечно-элементного моделирования НБВС, позволяющая определять прогибы вала, собственную частоту и критические формы колебаний с наибольшим размахом в горизонтальной и вертикальной плоскостях, благодаря которой даны рекомендации для выбора оптимальных параметров процесса обработки и обеспечена виброустойчивость технологической системы при повышении производительности обработки до 2 раз по сравнению с алмазным точением за счет скорости резания в диапазоне 5...14 м/с;

– определения упругой деформации материала обрабатываемого вала после установки его на станок, отличающаяся поочередным внедрением режущего

элемента в обрабатываемый материал с замером величины хорды угла контакта и хорды отпечатка непосредственно перед рабочим ходом, позволяющая повысить точность статической настройки технологической системы для уменьшения гарантированной бочкообразности обработанного НБВС до 15 мкм; осуществить выбор оптимальной величины заднего угла заточки режущего элемента и угла разворота оси резца в основной плоскости для повышения виброустойчивости [20 – А];

–определения коэффициентов трения и сил, действующих на рабочие поверхности режущего элемента чашечного резца, работающего по второй геометрической одноповоротной прямой схеме ротационного резания при обработке неметаллических материалов, отличающаяся разделением составляющих силы резания по рабочим поверхностям режущего клина с отключением подачи при уменьшении толщины среза: первый раз – при совмещении вершины режущего элемента с правым торцом заготовки, второй раз – точки выхода вспомогательной режущей кромки из обработанной поверхности с этим же торцом, позволяющая производить выбор оптимальных параметров геометрии чашечного резца с обновляющейся кромкой при изменении переднего угла заточки  $\gamma_3$  в диапазоне  $12^\circ \dots 18^\circ$ , заднего угла заточки  $\alpha_3$  в диапазоне  $6^\circ \dots 12^\circ$ , высоты установки оси резца относительно оси заготовки Н в диапазоне 5...15 мм при прямом вращении заготовки и  $-15 \dots -5$  мм при обратном, угла разворота оси резца в основной плоскости  $\phi_y$  в диапазоне  $0,5^\circ \dots 1,5^\circ$  и технологических режимов для повышения производительности обработки НБВС до 10 раз за счет увеличения подачи в диапазоне 1...3 мм/об [19 – А];

–определения геометрических параметров чашечных резцов с обновляющейся кромкой при обработке НБВС для выбора оптимальных значений углов и площадок контакта режущего элемента с заготовкой по передней и задним поверхностям, отличающаяся тем, что система координат привязана к плоскости резания и позволяет учитывать величину упругой деформации материала для уменьшения шероховатости и остаточной ворсистости до  $0,8 \dots 1,2$  мкм по параметру Ra, что сокращает более чем в 1,5 раза время прикатки НБВС на суперкаландре без заправки бумагой [4 – А].

Результаты экспериментальных исследований доказывают, что:

–при обработке длинномерных НБВС, вследствие затупления режущего элемента, динамическое воздействие на самовращающиеся и заторможенные инструменты к концу рабочего хода возрастает до 30 %, а обработка чашечным резцом с обновляющейся кромкой в диапазоне  $1,4 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$  м/с скорости обновления позволяет стабилизировать величину динамических нагрузок на инструмент на протяжении всего рабочего хода, благодаря неизменности геометрии рабочих поверхностей за счет компенсации размерного износа режущего лезвия в пределах угла контакта, что позволяет повысить точность обработки до 20 % [5 – А];

–формирование фаски износа при обработке НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой, работающих по второй геометрической прямой одноповоротной схеме ротационного резания происходит на передней поверхности режущего элемента и ее ширина равна глубине резания, величина уменьшения

диаметра режущей кромки изменяется от 0,05 мм до 0,15 мм при скорости ее обновления  $5 \cdot 10^{-5} \dots 1,4 \cdot 10^{-6}$  м/с соответственно, угол поверхности износа равен нулю [8 – А];

– обработка чашечными резцами с обновляющейся кромкой позволяет обеспечить шероховатость 0,8...1,2 мкм по параметру Ra и остаточную ворсистость рабочей поверхности НБВС в пределах шероховатости, что сокращает время прикатки валов на суперкаландре без заправки бумагой, в отличие от обработки самовращающимися инструментами, результатом которой является высокая остаточная ворсистость, образующаяся вследствие более глубокого разрыхления волокон обрабатываемого материала и шероховатость не менее 1,1...1,5 мкм по параметру Ra [2 – А, 6 – А, 10 – А, 11 – А];

– применение второй геометрической прямой одноповоротной схемы ротационного резания для чистовой обработки НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой позволяет обеспечить в продольном сечении гарантированную бочкообразность в пределах поля допуска шестого качества и шероховатость по параметру Ra не более 1,2 мкм [6 – А].

**Рекомендации по практическому использованию результатов.** Применение методики компьютерного конечно-элементного моделирования НБВС позволяет назначать оптимальные технологические режимы обработки, обеспечивающие повышение производительности и качества обработанной поверхности при достаточной виброустойчивости, исходя из конструктивных особенностей валов, физико-механических свойств материала набивки, давления прессования при сборке вала; определять прогибы вала в вертикальной и горизонтальной плоскостях, собственные частоты и критические формы колебаний с наибольшим размахом в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Использование методики вычисления упругой деформации материала НБВС, непосредственно на станке перед рабочим ходом, позволяет учитывать ее величину при статической настройке технологической системы и упростить настройку для повышения точности.

Применение методики определения коэффициентов трения и сил, действующих на рабочие поверхности режущего элемента чашечного резца, позволяет определять удельную нагрузку на каждом участке режущего лезвия, назначать оптимальные углы заточки режущего элемента и повысить точность измерения сил при исследованиях.

Использование разработанной методики для определения геометрических параметров чашечных резцов при обработке НБВС позволяет на стадии подготовки производства осуществить выбор оптимальных геометрических параметров чашечных резцов с обновляющейся кромкой и технологических режимов при распределении припуска между черновыми и чистовыми рабочими ходами, исходя из величины дефектов поверхностного слоя и состояния технологического оборудования, что сокращает время обработки и обеспечивает достижение требуемых параметров качества, предъявляемых к данным валам.

Применение разработанных методик и результатов экспериментальных исследований позволило:

– на этапе подготовки производства гарантировать повышение производи-



тельности до 10 раз за счет увеличения подачи и скорости резания, улучшение качества обработки НБВС до 20 % по всем параметрам при их изготовлении и реновации на токарном оборудовании без его модернизации чашечными резцами с обновляющейся кромкой;

–разработать конструкции резцов, основанных на механических и гидравлических приводах, реализующих принцип обновления режущей кромки и обеспечивающих управление скоростью ее обновления с повышением до 20 % точности обработки за счет стабилизации геометрии режущего клина [17 – А, 18 – А].

Промышленное использование результатов выполненных исследований позволило разработать способ обработки НБВС, имеющих прогиб из-за массивности и большой длины, внедрение которого обеспечило повышение производительности труда и точности при одновременном уменьшении шероховатости по параметру Ra и остаточной ворсистости в пределах величины шероховатости обработанных поверхностей на существующем токарном оборудовании без его модернизации. В результате внедрения чашечного резца с обновляющейся кромкой в 1990 году на Выборгском ЦБК, положительный экономический эффект составил более 87 тысяч советских рублей при годовом объеме выпуска 450 валов, а в 2006 году на ООО «ИлимСеверРМП», экономический эффект в размере более 1,8 миллионов российских рублей при годовом объеме выпуска 140 валов.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Логвин, В.А.** Новый способ обработки набивных бумажных валов суперкаландра / В.А. Логвин, А.С. Бухтилов, Ю.В. Васин // «Бумажная промышленность». – 1991. – № 1. – С.17–18.
2. **Логвин, В.А.** Влияние углов геометрии чашечных резцов на процесс резания набивных бумажных валов суперкаландра / В.А. Логвин, А.С. Бухтилов, Ю.В. Васин // «Бумажная промышленность». – 1991. – № 2. – С.26–27.
3. **Scholobow, A.A.** Neue Werkzeuge für die Bearbeitung der Superkalanderwellen / A.A. Scholobow, W.A. Logwin // GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI TANSZÉK. MISKOLCI EGYETEM. – 1994. – XXXIV. ÉVFOLYAM. – № 9–10. – P. 429–431.
4. **Жолобов, А.А.** Определение параметров чашечных резцов при резании /А.А.Жолобов, В.А.Логвин // Вестн.Белорус.– Рос. ун-та. – 2006. – № 3. – С.73–80.
5. **Жолобов, А.А.** Особенности обработки набивных бумажных валов суперкаландра (НБВС) резцами с обновляющейся режущей кромкой /А.А.Жолобов, В.А.Логвин // Вестн.Белорус.-Рос. ун-та. – 2006. – № 3. – С.80–88.

6. **Жолобов, А.А.** Формирование шероховатости рабочих поверхностей набивных бумажных валов суперкаландра (НБВС) при резании / А.А.Жолобов, В.А.Логвин, Н.А.Третьяков, В.В.Горьков // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2006. – № 4. – С.33–39.
7. **Логвин, В.А.** Новый способ обработки набивных бумажных валов суперкаландра (НБВС) / В.А. Логвин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.–техн. конф. – Могилев: Беларус.–Рос. ун–т, 2006. – Ч. 1. – С. 70–71.
8. **ZHOLOBOV, A.** CUP-SHAPED CUTTER WEAR WHILE THE SUPERCALANDER STACK PACKED PAPER SHAFTS MECHANICAL PROCESSING / A. ZHOLOBOV, V. LOGVIN, S. SAMARTSEV // MECHANICS 2006: Proceedings of the International Scientific Conference / Rzeszów University of Technology, Poland. – Rzeszów, July 2006. – № 231. – P.249–254.
9. **Жолобов, А.А.** Перспективы развития лезвийной обработки длиннономерных изделий для бумажной промышленности/ А.А. Жолобов, В.А. Логвин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.–техн. конф. – Могилев: Беларус.–Рос. ун–т, 2007. – Ч. 1. – С. 3–10.
10. **Логвин, В.А.** Повышение качества обработанной поверхности при точении бумажных каландровых валов круглыми резцами с принудительным приводом / В.А. Логвин // Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки: Тезисы докл. всесоюз. Науч.-техн.конф., Москва, 1988 г. / МВТУ им.Н.Э. Баумана, Москва, 1988. – С.293.
11. **Логвин, В.А.** Исследование формирования шероховатости поверхности при обработке набивных бумажных валов суперкаландра чашечными резцами / В.А. Логвин // Прочность, пластичность материалов и новые процессы их получения и обработки: Тезисы докл. Науч.-техн.конф., Минск, 29–30 марта 1990 г. / БелНИНТИ; редкол.: И.И. Шиманский [и др.]. – Минск, 1990. – С.102.
12. **Логвин, В.А.** Исследование динамических характеристик процесса обработки набивных бумажных валов суперкаландра (НБВС) чашечными резцами / В.А. Логвин // Прочность, пластичность материалов и новые процессы их получения и обработки: Тезисы докл. Науч.-техн.конф., Минск, 29–30 марта 1990 г. / БелНИНТИ; редкол.: И.И. Шиманский [и др.]. – Минск, 1990. – С.103.
13. **Логвин, В.А.** Обеспечение качественных параметров длиннономерных валов / В.А. Логвин // Ученые и специалисты – народному хозяйству области: Тезисы докл. областной Науч.-техн.конф., Могилев, 16–17 мая 1991 г. / МОП СНИО СССР, Могилев, 1991. – С.48.
14. **Логвин, В.А.** К вопросу автоматизации процесса механической обработки рабочих валов суперкаландра / В.А. Логвин // Ресурсо-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машино- и приборостроении: Тезисы докл. второй всесоюз. Науч.-техн.конф., Нальчик, 21–23 мая 1991 г. / АТН РСФСР, Москва, 1991. – С.152.

15. Чашечный резец: а.с. 1704936 СССР, МКИ4 В 23 В 27/12 /Г.Ф. Шатуров, А.С. Бухтилов, В.А. Логвин ; Могилевское отделение Физико-технического института АН БССР. – №4723916/08; Заявл. 19.05.89; Оpubл.15.01.92 // Открытия. Изобрет. – 1992. – № 2.
16. Приводной ротационный резец: а. с. 1768353 СССР, МКИ4 В 23 В 27/12 /Г.Ф. Шатуров, А.С. Бухтилов, В.А. Логвин; Могилевское отделение Физико-технического института АН БССР. – №4359228/08; Заявл. 06.01.88; Оpubл. 15.10.92 // Открытия. Изобрет. – 1992. – № 38.
17. Патент Республики Беларусь № 3160, заявка № u20060289, МПК В 23В 27/12. Резец с принудительным приводом/ Жолобов А.А., Логвин В.А., Логвина Е.В.; Заявл. 10.05.2006.; Оpubл. 30.12.2006.
18. Патент Республики Беларусь № 3161, заявка № u20060290, МПК В 23В 27/12. Чашечный приводной резец/ Жолобов А.А., Логвин В.А., Логвина Е.В.; Заявл. 10.05.2006.; Оpubл. 30.12.2006.
19. Заявка на изобретение № а20060427. Способ определения сил на задней поверхности чашечного инструмента/ Жолобов А.А., Логвин В.А., Логвина Е.В.; Заявл. 10.05.2006.
20. Заявка на изобретение № а20060428. Способ определения упругой деформации материалов при обработке резанием чашечными инструментами/ Жолобов А.А., Логвин В.А., Логвина Е.В.; Заявл. 10.05.2006.
21. Заявка на изобретение № а20060429. Способ обработки длинномерных тяжеловесных заготовок/ Жолобов А.А., Логвин В.А., Логвина Е.В.; Заявл. 10.05.2006.

## РЕЗЮМЕ

**Логвин Владимир Александрович**

### **Повышение производительности и качества обработки набивных бумажных валов суперкаландров чашечными резцами**

**Ключевые слова:** каландрирование, бумажные валы, суперкаландр, технология, обработка, чашечный резец, обновление режущей кромки.

**Объектом исследования** является технология обработки набивных бумажных валов суперкаландров.

**Целью работы** является повышение производительности и качества рабочих поверхностей набивных бумажных валов суперкаландров (НБВС) на базе новой технологии обработки чашечными резцами с обновляющейся кромкой, исключая операцию шлифования.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны методики определения: упругой деформации материала обрабатываемого вала, коэффициентов трения и сил, действующих на рабочие поверхности режущего элемента, геометрических параметров чашечных резцов с обновляющейся кромкой и на их основе определены закономерности процесса обработки НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой. Установлено, что технология обработки НБВС основанная на применении чашечных резцов с обновляющейся кромкой позволяет повысить производительность до 10 раз и точность до 20 % в сравнении с алмазным точением и одновременно уменьшить шероховатость и остаточную ворсистость до 30 % в сравнении с обработкой самовращающимися резцами.

Доказано, что при обработке НБВС чашечными резцами с обновляющейся кромкой формирование фаски износа происходит на передней поверхности режущего элемента, а ее ширина определяется глубиной резания.

Установлено отрицательное влияние самовращения режущего элемента чашечного резца на формирование шероховатости и остаточной ворсистости обработанной поверхности НБВС.

Промышленное использование результатов выполненных исследований позволило создать коммерческий продукт в виде двух конструкций чашечных резцов, реализующих принцип обновления режущей кромки. Разработан способ обработки длинномерных тяжеловесных заготовок, позволяющий эффективно использовать ресурс твердого сплава в качестве материала режущей части. Повышены точность и качество обработанных длинномерных поверхностей бумажных валов на существующем токарном оборудовании без его модернизации.

**Логвін Уладзімір Аляксандравіч**

**Павышэнне прадукцыйнасці і якасці апрацоўкі набіўных паперных валоў суперкаландраў чашачнымі разцамі**

**Ключавыя словы:** каландраванне, паперныя валы, суперкаландар, тэхналогія, апрацоўка, чашачны разец, абнаўленне рэжучага пруга.

**Аб'ектам даследавання** з'яўляюцца тэхналогія апрацоўкі набіўных паперных валоў суперкаландраў.

**Мэтай даследавання** з'яўляецца павышэнне прадукцыйнасці і якасці працоўных паверхняў набіўных паперных валоў суперкаландраў (НПВС) на базе новай тэхналогіі апрацоўкі чашачнымі разцамі з абнаўляючымся пругам.

На выснове тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў вызначаны метадыкі вызначэння: пруткай дэфармацыі матэрыяла апрацоўваемага вала, каэфіцыентаў трэння і сіл, дзеючых на працоўныя паверхні рэжучага элемента, геаметрычных параметраў чашачных разцоў з абнаўляючымся пругам і на іх выснове вызначаны заканамернасці працэса апрацоўкі НПВС чашачнымі разцамі з абнаўляючымся пругам. Вызначана, што тэхналогія апрацоўкі НПВС заснаваная на прымяненні чашачных разцоў з абнаўляючымся пругам дазваляя павысіць прадукцыйнасць да 10 раз і дакладнасць да 20 % у адрознінні з алмазным тачэннем і адначасова паменшыць шурпатасць і астаткаваю варсістасць да 30 % у адрознінні з апрацоўкай самакручанымі разцамі.

Даказана, што пры апрацоўцы чашачнымі разцамі з абнаўляючымся пругам фарміраванне фаскі зносу адбываецца на пярэдняй паверхні рэжучага элемента, а яе шырыня вызначаецца глыбіней рэзання.

Вызначаны адмоўны ўплыў самакручэння рэжучага элемента чашачнага разца на фарміраванне шурпатасці і астаткавай варсістасці апрацаванай паверхні НПВС.

Прамысловае выкарыстанне вынікаў выкананых даследаванняў дазволіла стварыць камерцыйны прадукт як дзве канструкцыі чашачных разцоў, якія рэалізуююць прынцып абнаўлення рэжучага пруга. Распрацаваны спосаб апрацоўкі даўгамерных цяжкаважных загатавак, што дазваляе эфектыўна выкарыстоўваць рэсурсы цвёрдага сплаву ў якасці матэрыялу рэжучай часткі. Павышаны дакладнасць і якасць апрацаваных даўгамерных паверхняў папяровых валоў на існуючым такарным абсталяванні без яго мадэрнізацыі.

## SUMMARY

**Logvin Vladimir Alexandrovich**

### **Increase of productivity and quality of processing of filled paper rolls of supercalenders by cup-tip cutters**

**Keywords:** calendering, paper shaft, supercalender, technology, processing, cup-tip cutter, updating of a cutting edge.

**Object of research** is the technology of processing of stuffed paper shafts of supercalenders.

**The purpose of work** is increase of productivity and quality of working surfaces of stuffed paper shafts of supercalenders on the basis of new technology of processing cup-tip cutters with a renewal edge, excepting operation of grinding.

On the basis of theoretical and experimental researches had developed techniques of definition: of elastic deformation of a material of a worked shaft, of friction coefficients and the forces acting on working surfaces of the cutting element, of geometrical parameters of cup-tip cutters with a renewal edge. Laws of processing of stuffed paper shafts of supercalenders by cup-tip cutters with a updated edge had determined on basis of these techniques.

Are established that technology of processing of stuffed paper shafts of supercalenders with application of cup-tip cutters with a renewal edge allows to increase productivity up to 10 times and accuracy up to 20 % in comparison with diamond turning and simultaneously to decrease a roughness and residual fluffiness up to 30 % in comparison with processing by autorotation cutters.

Are proved, that a face of deterioration is forming on a forward surface of a cutting element, but depth of cutting is determining its width by at processing of stuffed paper shafts of supercalenders by cup-tip with a renewal edge.

Is established negative influence of autorotation of a cutting element Of a cup-tip cutter on formation of a roughness and residual fluffiness of processed surface of stuffed paper shafts of supercalenders .

Industrial use of results of the executed researches has allowed to create a commercial product in the form of two designs of cup-tip cutters which implement a principle of updating of the cutting edge. Is created a way of processing of the lengthy heavy preforms, which allow effectively to use a resource of a hard metal as a material of a cutting part. Thus accuracy and quality of processed lengthy surfaces of a paper shaft on the existing turning equipment without its modernization is raised

Логвин Владимир Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА  
ОБРАБОТКИ НАБИВНЫХ БУМАЖНЫХ ВАЛОВ  
СУПЕРКАЛАНДРОВ ЧАШЕЧНЫМИ РЕЗЦАМИ**

05.02.08 – «Технология машиностроения»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл. – печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1.54. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_.

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