

*На правах рукописи*



**КУШНЕРЕВ ВИКТОР ОЛЕГОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОЦИЛИНДРОВКИ БРЕВЕН НА СТАНКАХ  
ПОЗИЦИОННОГО ТИПА**

**05.21.05 – Дровесиноведение, технология и оборудование  
деревопереработки**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2018

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Научный руководитель: Сергеевичев Александр Владимирович  
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Малыгин Владимир Иванович,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры металлов и машиностроения  
Северодвинского филиала ФГАОУ ВО  
«Северный (Арктический) федеральный  
университет имени М.В. Ломоносова»

Бызов Виктор Евгеньевич,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
лесотехнический университет»

Защита состоится «08» июня 2018 года в 11-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.220.03 при Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете имени С.М. Кирова (194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, главное здание, зал заседаний)

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского лесотехнического университета имени С.М. Кирова и на сайте <http://spbftu.ru/science/sovet/D21222003/dis03/>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета



Алексей Романович Бирман

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время в отечественном и зарубежном производстве широко развивается домостроение с использованием оцилиндрованных бревен. При использовании оцилиндрованных бревен: упрощается сборка сооружений, улучшается их внешний вид, обеспечивается унификация деталей, уменьшается трудоемкость технологического процесса, создаются условия для широкого применения вспомогательных механизмов и инструментов.

Сравнительный анализ оцилиндровочных станков показывает, что процесс оцилиндровки бревен производится разнообразными режущими инструментами, различными механизмами резания и подачи, а так же различными устройствами для базирования бревен при обработке. При эксплуатации оцилиндровочных станков был выявлен ряд недостатков, которые снижают производительность и качество обработки. К этим недостаткам относятся: неточность базирования бревен, вибрация бревен при обработке, прогибы бревен под действием режущих инструментов; малая стойкость режущих инструментов; неустановившийся процесс резания и стружкообразования; большие затраты времени на настройку и регулирование; значительные вынужденные простои станков из-за отказа в работе механизмов резания и др.

Лучшими показателями обладают позиционные оцилиндровочные станки с роторным механизмом резания. Однако многолезцовые роторы имеют сравнительно низкие эксплуатационные показатели: требуют много времени на оснащение резцами; много разнотипных резцов; малую стойкость резцов в работе и др. Ликвидация этих недостатков позволяет повысить производительность и качество обработки при оцилиндровке бревен. В связи с этим, тему проводимой нами работы, направленную на совершенствование параметров и конструкции механизма резания позиционных роторных оцилиндровочных станков для обработки бревен, следует считать актуальной для деревообрабатывающей промышленности.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследованием процесса резания древесины и древесных материалов занимались многие российские ученые: Бершадский А. Л., Пижурин А. А., Амалицкий В. В., Грубе А. Э., Глебов И. Т., Зотов Г. А., Ивановский Е. Г., Санев В. И., Сергеевичев А. В., Камнев Б. Б., Антонов В. Ф. Исследованием качества поверхности при резании древесины занимались: Ивановский Е. Г., Мурга В. К., Швамм Е. Е., Мильченко И. В., Новоселов В. Г., Шарапов В. С., Королев А. С., Рыбин Б. М., Санаев В. Г., Кирилов Д. В., Глебов И. Т., Антонов В. Ф.

**Цель и задачи работы.** Целью работы является повышение эксплуатационной эффективности оцилиндровочных станков на основе совершенствования механизма резания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести теоретические исследования влияния основных геометрических параметров инструмента на силовые, мощностные и качественные показатели процесса оцилиндровки бревен;

2. Провести экспериментальные исследования оцилиндровки бревен резанием с учетом основных технологических факторов;

3. Разработать рациональные режимы резания при оцилиндровке бревен на роторных позиционных станках;

4. Оценить технико-экономическую эффективность разработок по совершенствованию механизма резания оцилиндровочных станков для бревен;

5. Разработать научно обоснованные рекомендации по рациональной эксплуатации роторных позиционных оцилиндровочных станков для бревен.

#### **Научной новизной обладают:**

1. Геометрические погрешности, оказывающие влияние на качество обработанной поверхности, определяют точность работы оцилиндровочного станка позиционного типа.

2. Сокращение времени на подготовку и настройку оцилиндровочного оборудования может быть достигнуто путем использования разработанного унифицированного комплекта режущего инструмента многолезцовой охватывающей головки.

3. Обеспечения требуемого качества обработанной поверхности, исключая операцию шлифования, можно достичь путем включения группы чистовых ножей, входящей в состав комплекта унифицированного инструмента.

4. Снижение мощности, затрачиваемой на процесс оцилиндровки бревен, можно достичь за счет использования ножевой охватывающей роторной головки, оснащенной разработанным унифицированным комплектом ножей с обоснованными геометрическими и угловыми параметрами.

#### **Теоретическая значимость работы.**

- предварительная подготовка к оцилиндровке, благодаря наличию участка для сортировки бревен, способствует повышению надежности и долговечности работы оцилиндровочного оборудования и обеспечивает стабильную производительность и качество операции;

- в конструкции многолезцовой охватывающей головки для станков позиционного типа целесообразно применять унифицированный комплект режущего инструмента в виде плоских ножей с прямолинейной режущей кромкой: основные, косо расположенные ножи для черновой обработки и вспомогательные – для чистовой обработки, обеспечивающий требуемую износостойкость и качество обработанной поверхности;

- при удалении припуска на обработку с бревна основными косо расположенными ножами на обработанной поверхности остаются кинематические неровности. Для удаления неровностей изделия необходимо шлифовать, т.е. производить дополнительные затраты, во избежание этой ситуации необходимо в роторной головке использовать группу чистовых ножей, обеспечивающих требуемое качество поверхности;

- среди геометрических параметров режущего инструмента, влияющих на силовые, мощностные и качественные показатели процесса резания, угол наклона режущей кромки занимает особое место, влияя на процесс стружкообразования, а соответственно, и на качество обработанной поверхности.

### **Практическая значимость работы.**

Полученные результаты могут быть использованы на деревообрабатывающих предприятиях при назначении режимов оцилиндровки бревен и при проектировании роторных многолезцовых охватывающих ножевых головок.

- в режущей роторной охватывающей головке позиционного оцилиндровочного станка должны быть две группы ножей: основные ножи для черновой обработки и вспомогательные ножи для чистовой обработки, расположенные симметрично относительно центра головки, каждая группа резцов обеспечивает свой вид резания. Черновая унифицированная группа резцов работает в условиях срезания слоя древесины торцово-коническим методом. Чистовая унифицированная группа резцов работает в условиях переходного вида резания. Инструментом являются плоские косо поставленные ножи с прямолинейной режущей кромкой, сделанные из быстрорежущей стали P18;

- исследование кинематики движения бревен и режущего инструмента, а так же применяемых видов резания показывает, что влияющими факторами на мощность резания при оцилиндровке бревен черновыми резцами являются подача на резец, главный угол резца в плане и угол скоса резца. Для чистовых резцов при равных прочих условиях доминирующим фактором является угол наклона режущей кромки и вспомогательный угол резца в плане. Унифицированный комплект комбинированного режущего инструмента позволяет использовать все необходимые угловые параметры, обеспечивая стабильный процесс резания, с хорошим качеством обработки. Шероховатость обработанной поверхности после обработки чистовой группы ножей не превышает 81 мкм;

- использование унифицированного комплекта резцов и разработанные рекомендации режимов обработки позволяют: обеспечить высокую производительность обработки, статистическую и динамическую уравновешенность процесса резания, долговечность работы оборудования, получить требуемое качество обработанной поверхности и сократить время на подготовку и настройку режущего инструмента;

- для обеспечения нормальных условий оцилиндровки бревен, на станках позиционного типа, оснащенных многолезцовым инструментом в виде охватывающей роторной головки рекомендуются следующие значения; для черновых резцов: подача на оборот от 0,4 до 0,6 мм/об., главный угол резца в плане от 50 до 60°; и угол скоса резца от 15 до 20°. Для получения требуемого качества поверхности оцилиндрованных бревен рекомендуется угол наклона от 20 до 30° и вспомогательный угол резца в плане не больше 15° для чистовых резцов;

- в результате выполненной работы был разработан оригинальный унифицированный комплект резцов для роторной охватывающей головки, каждая группа ножей ориентирована на индивидуальное удаление слоя древесины за оборот ро-

тора. Комбинированный инструмент позволяет значительно повысить качество оцилиндровки бревен и увеличить износостойкость режущего инструмента.

**Методология и методы исследования.** Исследования базировались на принципах системного подхода с использованием обоснованных методов и методик научного поиска. Применение современных методов исследований, включая: методы системного анализа; исследования операций; однофакторного эксперимента; метода наименьших квадратов; метода нормального распределения; степенных зависимостей; а также математической статистики и графический метод; позволило разработать рациональные режимы резания при оцилиндровке бревен на роторных позиционных станках; а так же научно обоснованные рекомендации по рациональной эксплуатации роторных позиционных оцилиндровочных станков для бревен и вывести степенные зависимости основных параметров процесса оцилиндровки бревен.

Информационную базу исследований составили материалы научных исследований, научная, учебная и методическая литература, материалы периодических изданий, конференций, патентная информация, сведения из сети Интернет.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Группа чистовых ножей, входящих в состав разработанного комплекта унифицированного режущего инструмента, позволяет исключить операцию шлифования, при получении требуемого качества поверхности;

2. Сокращение внецикловых потерь времени процесса оцилиндровки бревен достигается путем применения разработанного унифицированного комплекта режущего инструмента, входящего в многорезцовую охватывающую головку;

3. Снижение мощности, затрачиваемой на процесс оцилиндровки бревен, достигается путем увеличения главного угла резца в плане, работающего в условиях торцово-конического резания;

4. Увеличение угла скоса резца в определенных пределах способствует незначительному увеличению мощности, затрачиваемой на операцию оцилиндровки бревен, но это необходимо для получения требуемого качества изделия.

**Степень достоверности.** Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается обоснованными упрощениями, корректными допущениями при замене реальных процессов расчетными схемами и разработке математических моделей; современными средствами научного поиска; результатами испытаний механизма резания; приемлемыми совпадениями результатов теоретических исследований с экспериментальными данными и внедрения технологии в производство.

**Апробация.** Результаты исследований апробированы в производственных условиях (ООО «Балтком»). Результаты исследований отмечены грантом Правительства Санкт-Петербурга в 2016 году лично выполненным автором. Результаты работы докладывались на: международной научно-практической конференции «Современные проблемы переработки древесины» в СПбГЛТУ имени С. М. Кирова в 2014 г., на научно-практической конференции «Современные проблемы переработки древесины» в СПбГЛТУ имени С. М. Кирова в 2015 г.,

на международной научно-практической конференции «Молодежный форум: технические и математические науки» в Воронеже 2015 г., на научно-технической конференции «Леса России» в СПбГЛТУ имени С. М. Кирова в 2016 г., и на научно-технической конференции «Леса России» в СПбГЛТУ имени С. М. Кирова в 2017 г. По результатам исследований автором опубликовано 14 печатных работ, в том числе, 4 статьи в ведущих рецензируемых изданиях из перечня ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы и приложений, содержит 153 страницы, 44 рисунка, 28 таблиц.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки» в пунктах:

1. Исследование свойств и строения древесины как объектов обработки (технологических воздействий).

2. Разработка теории и методов технологического воздействия на объекты обработки с целью получения высококачественной и экологически чистой продукции.

5. Исследование условий функционирования машин и оборудования деревообрабатывающих производств, агрегатов, рабочих органов, средств управления.

6. Обоснование и оптимизация параметров и резервов работы оборудования деревообрабатывающих производств.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, раскрыта научная новизна работы, ее значимость для науки и практики. Содержатся сведения о структуре, объеме диссертации и о соответствии паспорту специальности.

**В первой главе** выполнен анализ состояния вопроса, обоснованы цель и задачи исследования; представлен анализ развития домостроения на основе оцилиндрованных бревен; разработана классификация и выполнен сравнительный анализ оборудования применяемого при оцилиндровке бревен, а так же анализ результатов ранее выполненных исследований.

В настоящее время процесс оцилиндровки бревен изучен не достаточно. Для обоснования рациональной конструкции режущих инструментов, режимов резания, улучшения качества оцилиндровки бревен, улучшения эксплуатационных показателей оцилиндровочных станков, необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования. Выбор оптимального режущего инструмента и режимов резания является основным направлением обеспечения высокого качества обработанной поверхности оцилиндрованных бревен.

Комплексная оценка результатов исследований процесса оцилиндровки бревен позволила сделать следующие выводы:

1. Анализ существующего оборудования показывает, что, несмотря на разнообразие типов станков для оцилиндровки бревен, они имеют ряд существен-

ных недостатков. Для повышения эффективности процесса оцилиндровки бревен необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования.

2. Обоснование эффективного способа оцилиндровки бревен, оптимизация технологических параметров процесса, создание на его основе совершенного оборудования и режущего инструмента является актуальной научно-технической задачей в обеспечение высокой производительности оцилиндровочных станков и качества поверхности изделия.

3. Восьмирезцовая роторная охватывающая головка в производственных условиях обеспечивает хорошие результаты, но и имеет ряд недостатков, снижающих производительность процесса. Для устранения недостатков работы многорезцовой режущей головки необходимо разработать надежный и долговечный унифицированный комплект режущего инструмента.

**Во второй главе «Теоретические исследования процесса оцилиндровки бревен»** выполнен анализ поверхности бревен; разработана классификация погрешностей обработки бревен на позиционных роторных оцилиндровочных станках; теоретически обоснована необходимость наличия участка для предварительной подготовки бревен к обработке; представлены результаты исследований сил и мощности резания при оцилиндровке; динамических усилий, возникающих в механизме резания позиционного роторного оцилиндровочного станка; динамики привода механизма резания в режиме пуска и торможения; моделирование механизма резания оцилиндровочного роторного позиционного станка с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем.

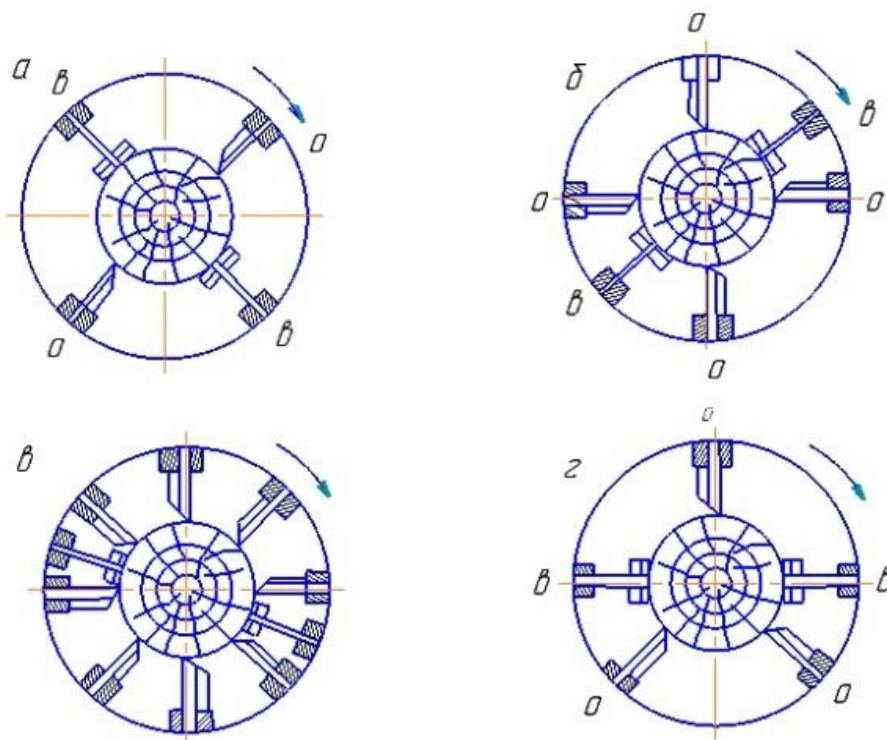
Наличие участка для подготовки бревен к оцилиндровке обеспечивает повышение производительности и качества обработки бревен на оцилиндровочных станках. Благодаря сортировке бревен обеспечивается стабильность процесса резания в связи с выравниванием глубины и сечения среза по длине бревен, ликвидируются предпосылки для возникновения вынужденных колебаний в станке, улучшается качество обработки поверхности при наличии установленного процесса стружкообразования. Кроме того, предварительная подготовка бревен к оцилиндровке способствует повышению надежности и долговечности работы оцилиндровочного станка.

В конструкции многорезцовой охватывающей головки для станков позиционного типа в качестве режущего инструмента целесообразно применять основные, косо расположенные, ножи для черновой обработки и вспомогательные ножи для чистовой обработки. Каждая группа резцов обеспечивает свой вид резания.

На рис.1 представлены варианты расположения основных и вспомогательных резцов в роторной головке. Вариант (а) предусматривает установку в роторе двух косо расположенных ножей и двух вспомогательных зачистных ножей. Вариант (б) предусматривает установку четырех основных и двух вспомогательных ножей. Вариант (в) – четыре основных и два вспомогательных ножа. Вариант (г) – три основных и два вспомогательных ножа.



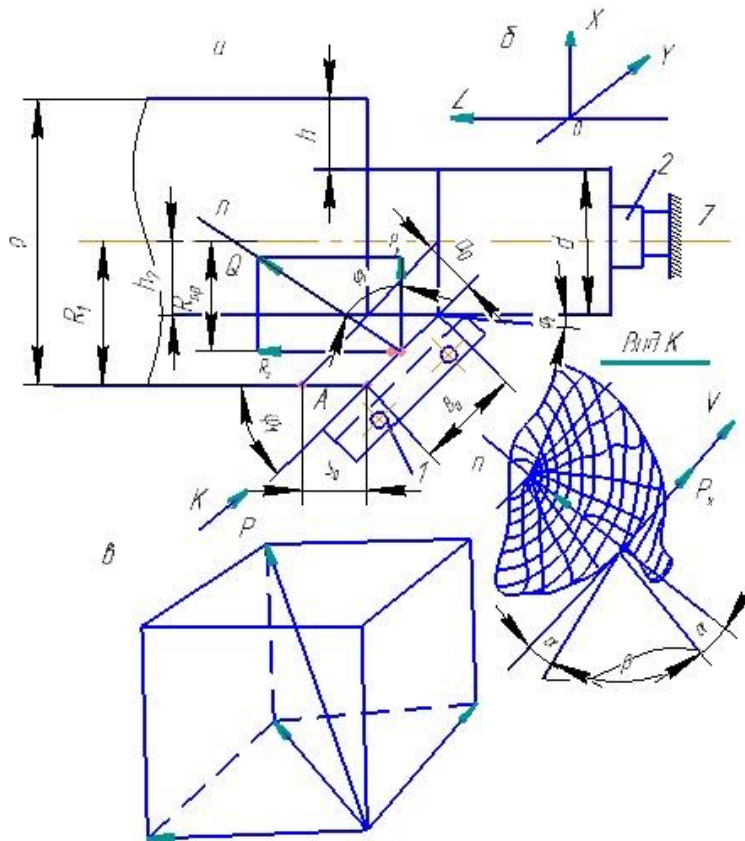
Число установленных ножей влияет на силовые и мощностные показатели эксплуатации механизма резания роторного станка. Поэтому конкретный выбор числа ножей в головке зависит от требований, предъявляемых к станку в условиях производства. Для установки ножей должен использоваться шаблон с ограничивающими планками, в которых нож упирается лезвием. В зависимости от условий обработки и требований основные и вспомогательные ножи могут устанавливаться на уровне и выше уровня оси бревна.



**Рис. 1.** Варианты расположения основных (O) и вспомогательных (B) резцов в роторной головке

Схема оцилиндровки бревна основным косо расположенным ножом, представлена на рис. 2, это сложный вид резания, в котором в той или иной степени сочетаются все три случая резания: резание в торец, продольное и поперечное. Доля того или иного вида резания в процессе оцилиндровки бревна, зависит от расположения ножа по отношению к направлению его оси, направлению волокон древесины и от формы режущей части ножа.

На схеме показан основной косо расположенный нож (1), который при вращении ротора срезает с поверхности бревна стружку с глубиной резания ( $h$ ). Вспомогательный нож на схеме не показан. Бревно закреплено в центрах (2) и при обработке остается неподвижным. Ротор с (Z) ножами при обработке вращается вокруг оси бревна и движется поступательно вдоль этой оси. Все точки лезвия ножа перемещаются в относительном движении, при стружкообразовании по винтовым линиям одного и того же шага, но с разными углами подъема.



**Рис. 2.** Схема черновой обработки бревен в роторном циклопозиционном станке

На мощность резания влияют: порода и влажность древесины; скорость резания и подачи; угловые параметры и острота инструмента; параметры срезаемого слоя и сила инерции срезаемой стружки.

Мощность резания ( $N_p$ ) для работы ротора с ( $Z$ ) ножами можно определить по величине касательной силы резания ( $P_x$ ) и средней скорости резания ( $V_{cp}$ ), кВт:

$$N_p = P_{x(z)} \cdot V_{cp} = K \cdot S_0 \cdot h \cdot \omega \cdot R_{cp} = K \cdot S_z \cdot Z \cdot h \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{cp} \cdot \frac{n}{60}. \quad (1)$$

$$R_{cp} = \frac{1}{2}(R_1 + R_2).$$

Мощность резания можно определить и по объемным соотношениям, кВт:

$$N_p = P_{x(z)} \cdot V_{cp} = K \cdot q. \quad (2)$$

где:  $K$  – удельная работа резания, Дж/см<sup>3</sup>;

$q$  – объем стружки, срезаемый ножами за одну секунду, см<sup>3</sup>/с.

Формулу (2) можно привести к следующему виду:

$$N_p = P_{x(z)} \cdot V_{cp} = \frac{K \cdot \pi (D^2 - d^2) V_s}{40 \cdot 60} = K \cdot \pi \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2) V_s}{60}, \quad (3)$$

где:  $V_{cp}$  – средняя скорость резания, м/с;

$V_s$  – скорость осевой подачи ротора, м/мин.

В срезаемой стружке создается поле упругих деформаций, и его потенциальная энергия превращается в кинетическую и увеличивает скорость движения стружки. Начальная скорость движения срезаемой стружки равна:

$$V_{н.с} = a \cdot V_{ср}.$$

Увеличение скорости резания: с 50 до 100 м/с, вызывает рост силы резания на 30 – 40%. Это приращение силы резания очевидно связано с преодолением силы инерции стружек, повышением прочностных показателей древесины в условиях больших скоростей резания, изменением условий трения древесины о резец и влиянием других факторов. Влияние скорости резания на силовые, мощностные и качественные показатели необходимо рассматривать в связи с влиянием совокупности условий резания.

Дополнительная мощность, затрачиваемая на ускорение срезаемой ножами стружки, может быть определена, приравниванием работы на ускорение стружек, к изменению кинетической энергии, получившей ускорение стружки за секунду. Исходя из этого имеем равенство, Дж/с:

$$A_1 = \frac{m_1 V_e^2}{2} \approx \frac{m_1 V_{ср}^2}{2}; \quad (4)$$

где:  $A_1$  – секундная работа, затрачиваемая на ускорение стружки, Дж/с;

$m_1$  – масса стружки срезаемая всеми ( $Z$ ) основными ножами при вращении ротора за секунду, кг/с;

$V_e$  – результирующая скорость резания:  $V_e = V_{ср} + V_s$ , м/с;

$V_{ср}$  – средняя скорость резания для косо расположенного ножа, м/с;

В практических условиях при  $V_{ср} > V_s$ ; можно принять  $V_e \approx V_{ср}$ , т.е., результирующая скорость резания примерно равна средней скорости резания, на уровне среднего радиуса ( $R_{ср}$ ), рис. 2.

С учетом (1) дополнительную мощность на ускорение срезаемой ( $Z$ ) ножами стружки можно определить по формуле, кВт:

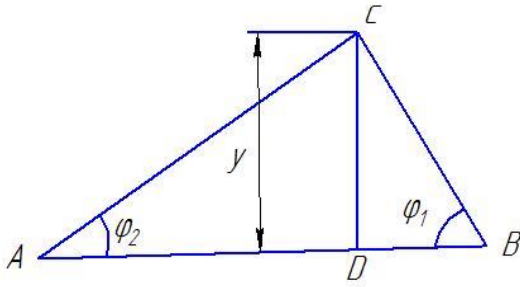
$$N_p = \frac{A_1}{10^3} = \frac{m_1 V_{ср}^2}{2 \cdot 10^3}. \quad (5)$$

Суммарная мощность на резание и ускорение срезаемой стружки, с учетом равенств (1) и (3), для основных косо расположенных ножей равна, кВт:

$$N_o = \frac{K \pi V_s}{60 \cdot 10^3} (R_1^2 - R_2^2) + \frac{m_1 V_{ср}^2}{2 \cdot 10^3}. \quad (6)$$

При удалении припуска на обработку с бревна основным косо расположенным ножом на обработанной поверхности остаются кинематические неровности. Кинематические неровности представляют собой следы в виде чередующихся выступов и впадин, которые копируют вершину ножа. Длина волны ( $l$ ) равняется подаче на оборот для одного ножа ( $S_z$ ). Для определения глубины волны, воспользуемся рис. 3.

Гребешок «ACB» представляет собой треугольник, образованный величиной подачи ( $S_z$ ) и проекциями главной и вспомогательной режущих кромок ножа.



**Рис. 3.** Остаточные неровности, при острой вершине ножа (С)

Откуда высота гребешка (неровностей) для ножа с острой вершиной (С):

$$y = S_z = \frac{tg\varphi_1 \cdot tg\varphi_2}{tg\varphi_1 + tg\varphi_2}. \quad (9)$$

Для удаления кинематических неровностей, оставшихся после обработки черновой группой ножей, следует применять чистовую группу ножей, позволяющую получить требуемое качество обработанной поверхности, рис. 4. Для того, что бы кинематические неровности на поверхности обработки имели минимальную глубину, следует назначать меньшие величины подачи на резец, главного ( $\varphi_1$ ) и вспомогательного ( $\varphi_2$ ) углов резца в плане. Радиус закругления вершины ножа по возможности нужно увеличивать. Для баланса в роторной головке циклового позиционного станка, чистовых ножей должно быть два, установленных симметрично относительно центра ножевой головки.

При наличии кинематических неровностей на обработанной поверхности имеется площадь остаточного сечения стружки, срезаемой ножом:

$$F_{\text{ост}} = \frac{S_z y}{2} = \frac{S_z^2}{2} \cdot \frac{tg\varphi_1 \cdot tg\varphi_2}{tg\varphi_1 + tg\varphi_2}. \quad (10)$$

Фактическое сечение срезаемой ножом стружки:

$$F_{\phi} = h \cdot S_z - \frac{S_z^2 \cdot tg\varphi_1 \cdot tg\varphi_2}{2(tg\varphi_1 + tg\varphi_2)}. \quad (11)$$

Если нож в вершине имеет закругление с радиусом ( $r$ ), то при  $S_z < r$ ; глубина неровностей будет равна:

$$y = S_z^2 / 8r.$$

Мощность резания при обработке поверхности парой ножей может быть определена по объемной формуле, кВт:

$$N_{B(2)} = \frac{K \cdot y \cdot \delta \cdot \cos \varepsilon_0 \cdot V_s}{60}. \quad (12)$$

где:  $K$  – удельная работа резания для вспомогательного ножа, Дж/см<sup>3</sup>;

$V_s$  – скорость осевой подачи ротора, м/мин.

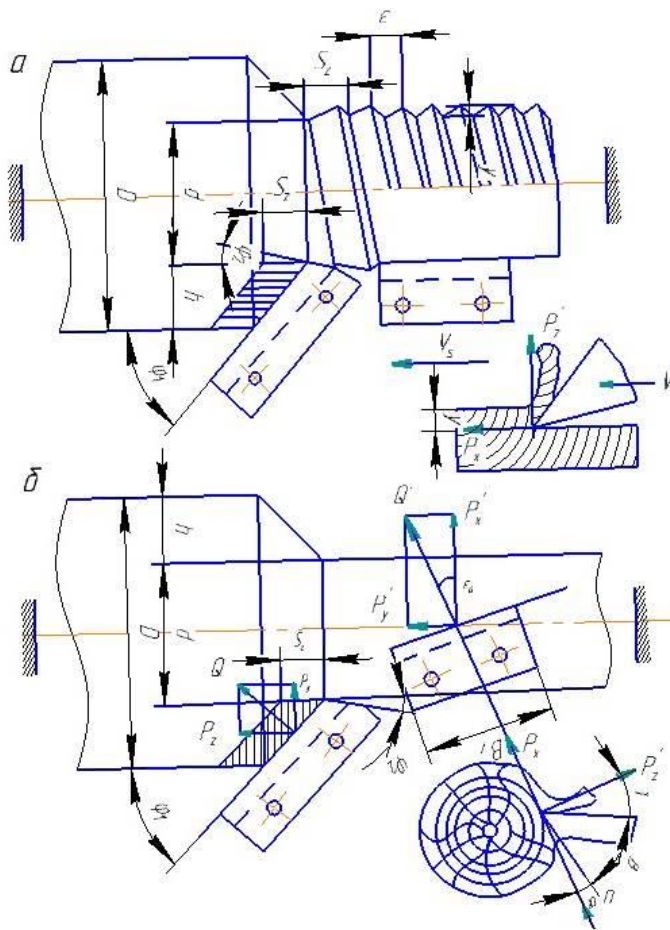
Общую мощность на резание для двух вспомогательных ножей в роторе можно определить по формуле в виде, кВт:

$$N_{B(2)} = \frac{K \cdot y \cdot \delta \cdot \cos \varepsilon_0 \cdot V_s}{60 \cdot 10^3} + \frac{m_1 V^2}{2 \cdot 10^3}. \quad (13)$$

Суммарная мощность, затрачиваемая на резание, роторной головкой с основными и вспомогательными резцами определяется путем суммирования мощностей, т.е., кВт:

$$N_c = \frac{K \pi V_s}{60 \cdot 10^3} (R_1^2 - R_2^2) + \frac{m_1 V_{cp}^2}{2 \cdot 10^3} + \frac{K \cdot y \cdot \delta \cdot \cos \varepsilon_0 \cdot V_s}{60 \cdot 10^3} + \frac{m_1 V^2}{2 \cdot 10^3}. \quad (14)$$

где:  $K$  – удельная работа резания для вспомогательного ножа, Дж/см<sup>3</sup>;  
 $m_1$  – масса стружки, срезаемая всеми ( $Z$ ) основными ножами при вращении ротора за секунду, кг/с;  
 $V_{cp}$  – средняя скорость резания, м/с;  
 $V_s$  – скорость осевой подачи ротора, м/мин.



Геометрические параметры резцов и режимы резания влияют на точность и качество обработанного материала, долговечность и работоспособность режущего инструмента, статистическую и динамическую уравновешенность процесса и производительность станка.

**Рис. 4.** Схема ножевого резания чистовым вспомогательным резцом при оцилиндровке бревен в роторном цикло-позиционном станке  
 а. неровности на обработанной поверхности от основного ножа;  
 б. силы резания при удалении неровностей вспомогательным ножом.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований оцилиндровки бревен на роторных станках позиционного типа» описана программа экспериментальных исследований, разработана методика проведения экспериментальных исследований влияния параметров режущего инструмента и режима резания на мощностные и качественные показатели оцилиндровки бревен черновыми и чистовыми резцами; создана методическая сетка опытов для исследования оцилиндровки бревен, представлена методика обработки результатов.

В задачи экспериментальных исследований входило: изучение влияния параметров резцов и режима резания на мощностные и качественные показатели оцилиндровки бревен резанием; установление связи характера стружкообразования с качеством обработки. Для проведения плановых опытов использовалась установка на базе токарного станка с асинхронным электродвигателем мощностью 4 кВт. Рабочая частота вращения шпинделя станка принята равной

900 мин<sup>-1</sup>, это находится в соответствии с промышленной частотой роторных оцилиндровочных станков позиционного типа.

Одна из методических сеток проведения опытов по исследованию работы черновых резцов, представлена в табл. 1.

**Таблица 1**

| Задача исследования   | Постоянные факторы                           |               | Переменные факторы            |          | Кол-во опыт | Кол-во набл в опыте | Общ кол-во набл |
|---|--|---------------|-------------------------------|----------|-------------|---------------------|-----------------|
|   | наименование                                 | значение      | наименование                  | значение |             |                     |                 |
| Установить влияние скорости подачи ротора на мощность резания | Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> | 950           | Скорость подачи ротора, мм/об | 0,2      | 6           | 3                   | 18              |
|   | Влажность древесины, %                       | 20±2          |                               | 0,4      | 6           | 3                   | 18              |
|   | Глубина резания, мм                          | 10            |                               | 0,6      | 6           | 3                   | 18              |
|   | Задний угол резца°                           | 10            |                               |          |             |                     |                 |
|   | Угол заточки резца°                          | 35            |                               |          |             |                     |                 |
|   | Передний угол резца°                         | 45            |                               |          |             |                     |                 |
|   | Угол резания°                                | 45            |                               |          |             |                     |                 |
|   | Температура окружающей среды, С°             | 20            |                               |          |             |                     |                 |
|   | Порода древесины                             | Сосна, Ель    |                               |          |             |                     |                 |
|   | Диаметр оцилиндрованных бревен, мм           | 140, 120, 100 |                               |          |             |                     |                 |
|   | Угол скоса режущей кромки резца°             | 0             |                               |          |             |                     |                 |
| Главный угол резца в плане°                                   | 45   |               |                               |          |             |                     |                 |

Опытный узел резания устанавливается на суппорте экспериментальной установки. Узел резания включает основание и установленную на нем державку с закрепленным резцом. Данная конструкция обеспечивает четыре степени свободы для резца. Позволяет ориентировать его лезвие в пространстве и получать углы необходимые для проведения экспериментов. Для определения необходимых настроечных перемещений резца в ходе экспериментов были проведены теоретические исследования.

Одна из методических сеток проведения опытов по исследованию работы чистовых резцов представлена в табл. 2.

**Таблица 2**

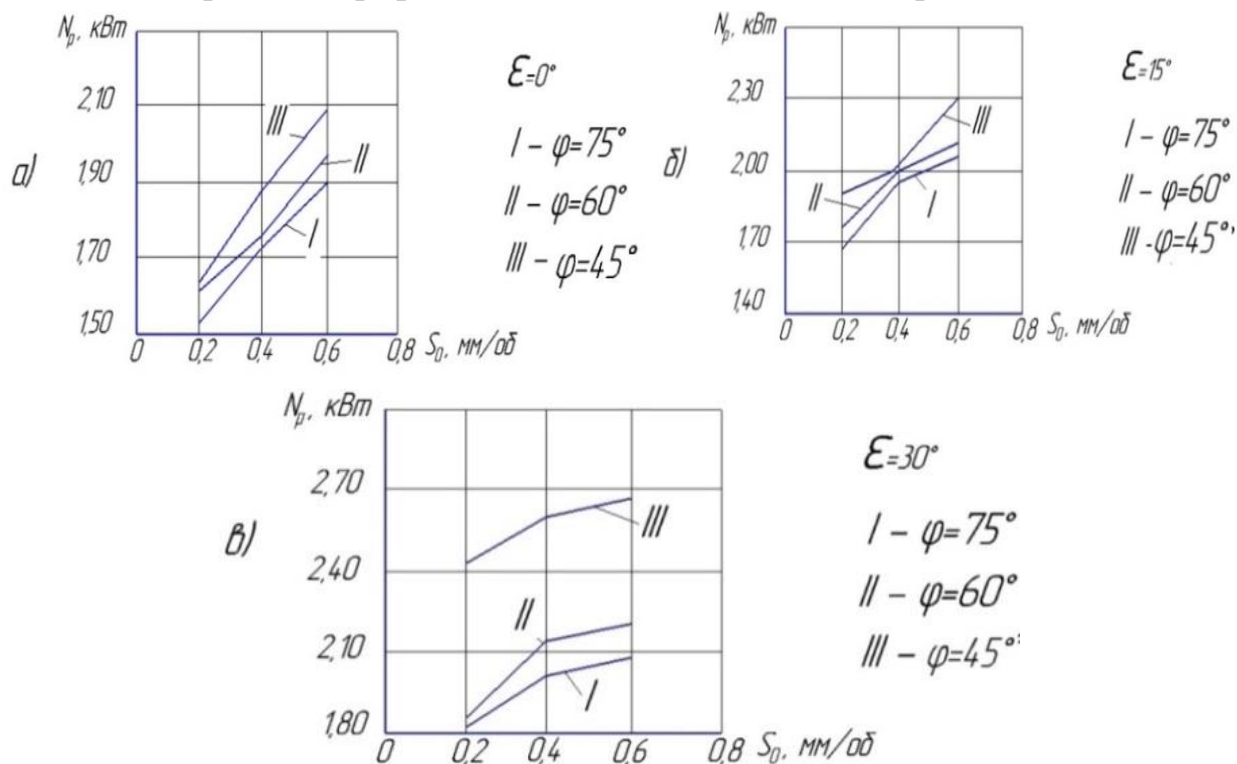
| Задача исследования  | Постоянные факторы                           |            | Переменные факторы            |          | Кол-во опытов | Кол-во набл в опыте | Общ кол-во набл |
|--|--|------------|-------------------------------|----------|---------------|---------------------|-----------------|
|  | наименование                                 | значение   | наименование                  | значение |               |                     |                 |
| Установить влияние скорости подачи ротора на шероховатость обработанной поверхности, мкм | Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> | 950        | Скорость подачи ротора, мм/об | 0,2      | 3             | 3                   | 9               |
|  | Влажность древесины, %                       | 20±2       |                               | 0,4      | 3             | 3                   | 9               |
|  | Глубина резания, мм                          | 0,6        |                               | 0,6      | 3             | 3                   | 9               |
|  | Задний угол резца°                           | 10         |                               |          |               |                     |                 |
|  | Угол заточки резца°                          | 30         |                               |          |               |                     |                 |
|  | Передний угол резца°                         | 50         |                               |          |               |                     |                 |
|  | Угол резания°                                | 40         |                               |          |               |                     |                 |
|  | Температура окружающей среды, С°             | 20         |                               |          |               |                     |                 |
|  | Порода древесины                             | сосна, ель |                               |          |               |                     |                 |
|  | Диаметр оцилиндрованного бревен, мм          | 100        |                               |          |               |                     |                 |
|  | Угол вспомогательный в плане°                | 15         |                               |          |               |                     |                 |
| Угол скоса резца   | 0, 15, 30                                    |            |                               |          |               |                     |                 |



Предварительными экспериментами было установлено, что мощность на резание для чистовых резцов не превышает 5% от мощности резания для черновых резцов. Поэтому ее при расчетах мощности на резание в условиях оцилиндровки бревен, можно учесть коэффициентом запаса. При исследовании работы чистовых резцов в качестве оценочного показателя учитываем шероховатость поверхности обработки.

**В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований оцилиндровки бревен»** представлены результаты влияния режимных и инструментальных факторов на мощность и качество резания при оцилиндровке бревен, а также результаты производственных испытаний.

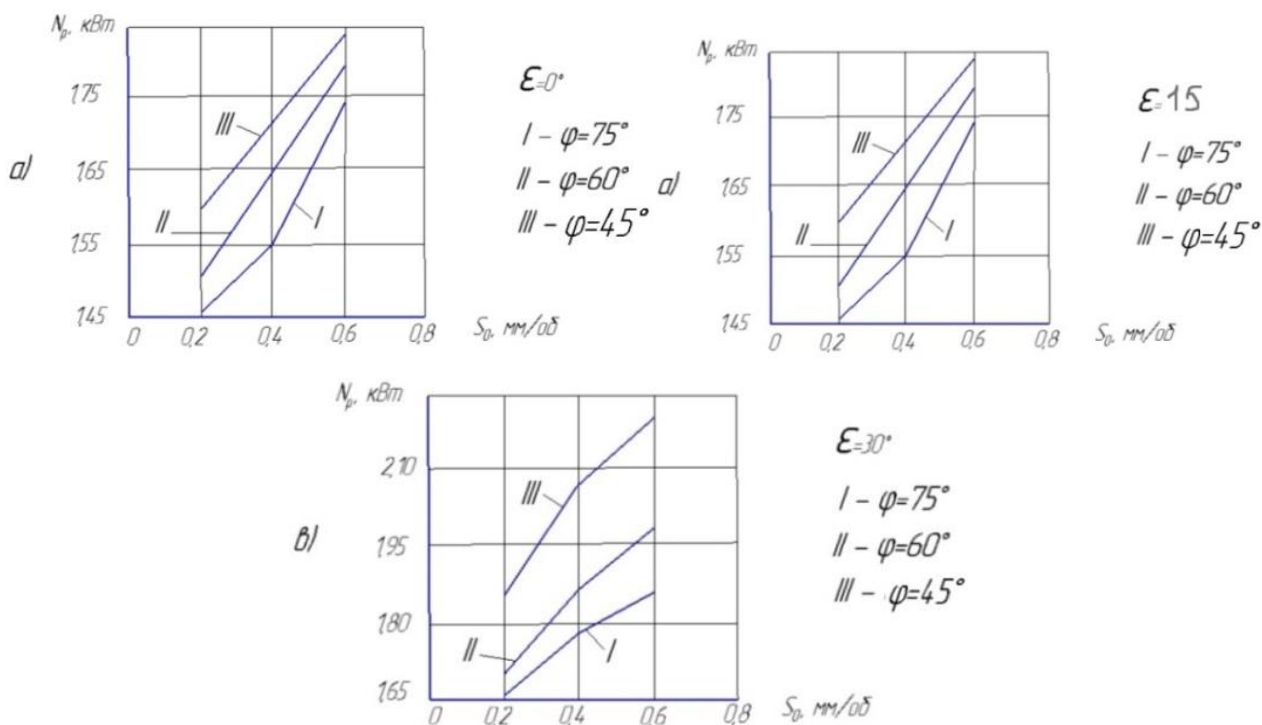
При проведении опытов в соответствии с методической сеткой определялась зависимость мощности на резание от основных режимных и инструментальных факторов при оцилиндровке сосновых и еловых бревен с влажностью 20% острыми резцами для черновой обработки. Опыты выполнялись на основе методики однофакторного эксперимента. Результаты опытов подвергались статистической обработке. В последующем обработка полученных данных производилась графическим методом с построением графиков и степенных зависимостей, рис. 5-7.



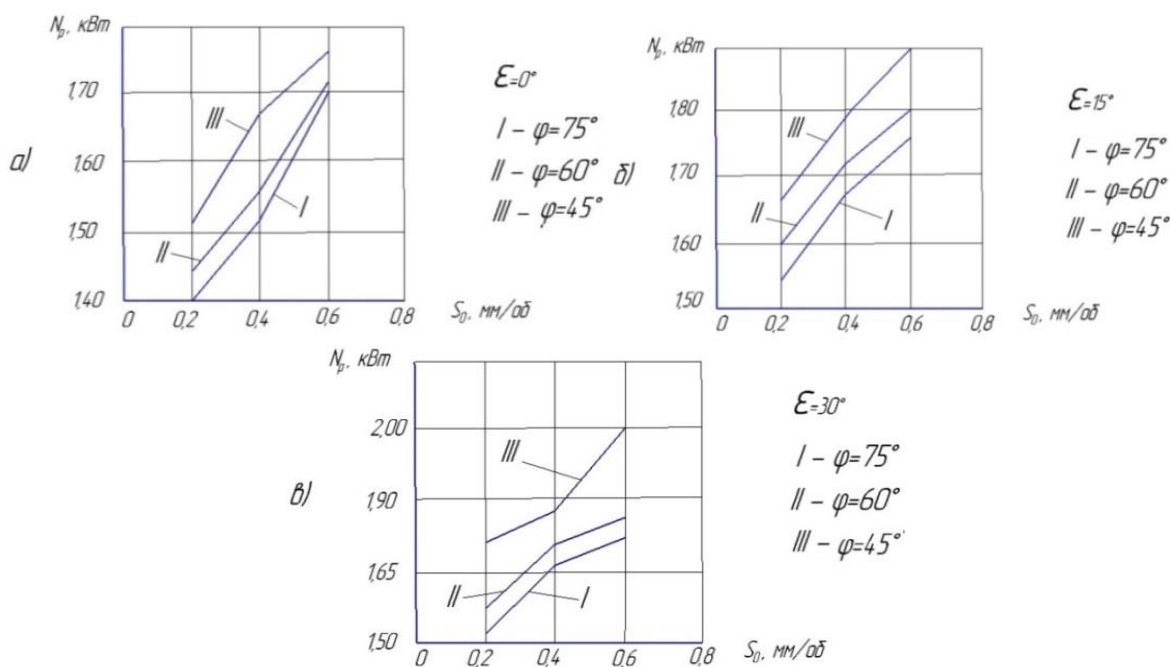
**Рис. 5.** Влияние подачи на мощность резания при оцилиндровке бревен черновыми резцами. Материал – сосна; диаметр – 140мм;

Подача на резец оказывает большое влияние на мощность резания и на характер стружкообразования. В опытах подача на резец варьировалась в пределах от 0,2 до 0,6 мм/об. При других значениях подачи на оборот условия обработки бревен ухудшаются. При этом снижаются производительность и качество обработанной поверхности бревен. Из графиков видно, что при всех рав-

ных прочих условиях с увеличением подачи на резец мощность резания возрастает. Тенденция к росту мощности объясняется тем, что при увеличении подачи на резец увеличивается площадь сечения и толщина срезаемой стружки и соответственно растет сила резания. На основе проведенных опытов для практических целей организации процесса оцилиндровки бревен черновыми резцами рекомендуются подачи на резец в пределах от 0,4 до 0,6 мм/об.



**Рис. 6.** Влияние подачи на мощность резания при оцилиндровке бревен черновыми резцами. Материал – сосна; диаметр – 120мм.



**Рис. 7.** Влияние подачи на мощность резания при оцилиндровке бревен черновыми резцами. Материал – сосна; диаметр – 100мм.



Главный угол резца в плане оказывает заметное влияние на мощность резания. В опытах главный угол в плане для резца варьировался в пределах от 45 до 75°. Из графиков видно, что с увеличением главного угла в плане, мощность на резание уменьшается. Тенденция к снижению мощности резания объясняется тем, что при увеличении главного угла, резание переходит от торцово-продольного к торцово-поперечному с уменьшением энергозатрат. На основе проведенных опытов для практических целей организации процесса оцилиндровки бревен черновыми резцами рекомендуется главный угол резца в плане от 50 до 60°.

Влияние угла скоса на оцилиндровочный процесс следует рассматривать в совокупности с подачей на резец и главным углом резца в плане. В опытах угол скоса резца изменялся в пределах от 0 до 30°. При анализе графиков видно, что с увеличением угла скоса чернового резца мощность резания возрастает. Интенсивность роста сил резания резко увеличивается, начиная с 40–50°. Тенденция роста мощности резания с увеличением угла скоса резца объясняется тем, что с увеличением угла скоса, изменяется вид резания и соответственно характер стружкообразования. Для практики оцилиндровки бревен черновыми резцами на основе опытов рекомендуется угол скоса резца в пределах от 15 до 20°.

На основе обобщения опытных данных и частных степенных зависимостей получены следующие степенные формулы для определения мощности резания при оцилиндровке бревен роторным инструментом с (Z) резцами по окружности резания:

- для оцилиндровки сосновых бревен, кВт:

$$N_p = 0,218 \cdot S_z^{0,16} \cdot \varphi^{-0,15} \cdot \varepsilon^{0,16} \cdot t \cdot Z ; \quad (15)$$

- для оцилиндровки еловых бревен, кВт:

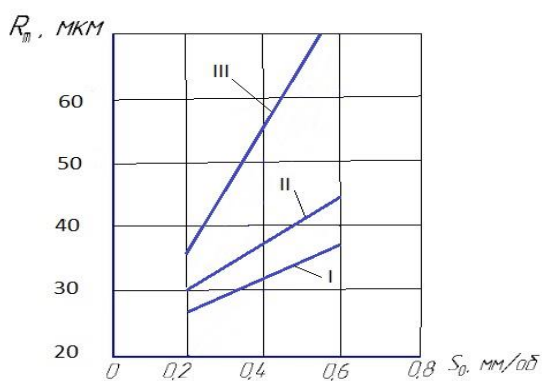
$$N_p = 0,238 \cdot S_z^{0,14} \cdot \varphi^{-0,12} \cdot \varepsilon^{0,1} \cdot t \cdot Z . \quad (16)$$

Угловые параметры чернового резца:  $\alpha = 10^\circ$ ;  $\beta = 35^\circ$ ;  $\gamma = 45^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ; резец острый ( $\rho=10-15$  мкм); материал резца – быстрорежущая сталь (P9; P18). При изменении породы древесины, влажности древесины, остроты резцов, угла резания, следует использовать поправочные коэффициенты.

Для обеспечения нормальных условий оцилиндровки бревен на станках позиционного типа, многорезцовым инструментом, в виде охватывающей роторной головки, рекомендуются следующие значения для черновых резцов подача на оборот от 0,4 до 0,6 мм/об., главный угол резца в плане от 50 до 60° и угол скоса резца от 15 до 20°. Для получения требуемого качества поверхности оцилиндрованных бревен рекомендуется угол наклона от 20 до 30° и вспомогательный угол резца в плане не больше 15°, для чистовых резцов.

Высота неровностей оставшихся после обработки черновыми резцами колеблется от 50 до 300 мкм. С учетом этого глубина резания чистовыми резцами должна быть в среднем 0,6 мм (с учетом припуска для полного удаления ножом слоя древесины с неровностями).

С увеличением подачи на резец в пределах от 0,2 до 0,6 мм/об., при глубине резания 0,6 мм, шероховатость обработанной поверхности чистовыми резцами увеличивается в диапазоне от 30 до 80 мкм. Это связано с тем, что при увеличении подачи и глубины резания увеличивается поле деформации в зоне лезвия инструмента, возрастают силы резания на режущей кромке, передней и задней гранях резца. Для практики рекомендуются: угол скоса резца от 20° до 30°, вспомогательный угол резца в плане 15°. Данные углы обеспечивают требуемое качество обработанной поверхности, рис. 8.



Опыты подтверждают, что шероховатость на поверхности обработки при варьировании переменных колеблется в пределах: от 27 до 81 мкм. Оценка качества поверхности производилась прибором МИС-11.

**Рис. 8.** Влияние подачи на шероховатость обработанной поверхности при оцилиндровке бревен чистовыми резцами

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены оптимальные геометрические параметры унифицированного режущего инструмента и режимы оцилиндровки бревен. В соответствии с полученными данными был изготовлен комплект унифицированного режущего инструмента восьмirezцовой охватывающей ножевой головки роторного оцилиндровочного станка позиционного типа.

При проведении производственных испытаний эксплуатационные показатели, характеризующие износ и затупление режущего инструмента, определялись следующим образом: чистовые резцы заменялись при увеличении шероховатости обработанной поверхности свыше регламентированной; черновые резцы заменялись при отключении станка, вызванного увеличением мощностных показателей процесса резания.

**В пятой главе: «Технико-экономическая эффективность внедрения результатов разработок в промышленность»** проведена оценка эффективности от возможности внедрения ножевой головки для условий «ООО Балтком», в сравнении с используемым оборудованием.

Величина годового экономического эффекта определялась по разности эксплуатационных затрат базового и нового инструмента для оцилиндровочного станка.

Экономия от внедрения комплекта унифицированных резцов ножевой головки достигается главным образом за счет снижения эксплуатационных затрат.

Внедрение комплекта унифицированного режущего инструмента восьмirezцовой ножевой головки роторного оцилиндровочного станка позиционного типа позволило улучшить эксплуатационные характеристики и повысить эффективность процесса обработки бревен.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения унифицированного комплекта режущего инструмента многолезцовой охватывающей ножевой головки по предприятию составит 324 тыс. руб. в год.

### **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

Изучение основных показателей процесса оцилиндровки бревен и обоснование конструкции многолезцовой роторной головки для оцилиндровки бревен с унифицированным и нормализованным режущим инструментом позволяют сделать следующие выводы:

1. Анализ состояния вопроса оцилиндровки бревен, несмотря на актуальность задачи унификации режущего инструмента, показывает отсутствие в последние годы исследовательских работ в этом направлении.

2. Сортировка по диаметрам, длине и кривизне ствола, а также проверка на наличие минеральных включений обеспечивает долговечность оцилиндровочного оборудования и стабильные производительность и качество изделий.

3. Для исключения прогиба бревна при оцилиндровке в позиционных роторных станках целесообразно применять подвижный люнет, обеспечивающий необходимую геометрическую точность обработки.

4. Для снижения уровня энергозатрат при оцилиндровке бревен необходимо увеличивать главный угол резца в плане, для обеспечения требуемого качества поверхности изделия необходимо увеличивать угол скоса резца.

5. Обеспечения требуемого качества обработанной поверхности и удаления кинематических неровностей можно достичь путем использования группы чистовых резцов.

6. Для получения необходимого качества оцилиндрованных бревен и увеличения работоспособности оборудования разработан унифицированный комплект ножей многолезцовой роторной охватывающей головки.

7. Внедрение модернизированной ножевой головки для оцилиндровочного станка позиционного типа позволило улучшить эксплуатационные характеристики и повысить эффективность процесса обработки бревен. Ожидаемый экономический эффект от внедрения ножевой головки по предприятию составит 324 тыс. руб. в год.

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

Статьи в ведущих рецензируемых журналах

1. Сергеевичев А.В., Соколова В.А., Кушнерев В.О. Формирование поверхности твердых тел: граничная область материал-среда // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 208, СПб.: СПбГЛТУ, 2014 – С. 138 – 152.

2. Каменев Б.Б., Кушнерев В.О. Повышение стойкости инструмента роторных оцилиндровочных станков на основании анализа погрешностей обработки бревен // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 214, СПб.: СПбГЛТУ, 2016 – С. 179 – 189.

3. Федяев А.А., Федяева Н.Ю., Шумякова Н., Кушнерев В.О. Повышение эффективности клееных деревянных конструкций. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 217, СПб.: СПбГЛТУ, 2016 – С. 219 – 228.

4. Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Анализ влияния параметров режущего инструмента и режимов резания на качественные и мощностные показатели в условиях оцилиндровки бревен. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 219, СПб.: СПбГЛТУ, 2017 – С. 193 – 206.

В прочих изданиях

5. Федяев А.А., Сергеевичев В.В., Кушнерев В.О. К вопросу оптимизации процессов шлифования и полирования твердых тел. Труды Братского государственного университета: Серия: Естественные и инженерные науки: в 2 т. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013, с. 148-153.

6. Гузюк С.П., Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Виброустойчивость деревообрабатывающего оборудования. Труды Братского государственного университета: Серия: Естественные и инженерные науки: в 2 т. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013, с. 176 – 180.

7. Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Анализ динамики оцилиндровочных станков позиционного типа. Итоги научно-исследовательских работ 2014г. – СПб.: СПбГЛТУ.

8. Гузюк С.П., Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Состояние и тенденции развития оборудования в деревообрабатывающей отрасли. Современные проблемы переработки древесины: Материалы научно-практической конференции. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. с. 61 – 63.

9. Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Совершенствование подготовки режущего инструмента роторных оцилиндровочных станков. Современные проблемы переработки древесины: Материалы научно-практической конференции. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. с. 79 – 84.

10. Кушнерев В.О. Особенности оцилиндровки бревен точением. Молодежный форум: технические и математические науки. Материалы международной научно-практической конференции. Том 2. – Воронеж: ВГЛУ, 2015. – С. 70-73.

11. Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Повышение стойкости дереворежущих ножей оцилиндровочных станков. Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы международной научно-технической конференции. Том 2 / Под ред. В.М. Гедьо. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016 – с. 113 – 116.

12. Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Совершенствование подготовки режущего инструмента роторных оцилиндровочных станков. Итоги научно-исследовательских работ 2015г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016.

13. Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Сравнительная оценка производительности оцилиндровочных станков различного типа. Итоги научно-исследовательских работ 2016г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017.

14. Гузюк С.П., Кушнерев В.О. Перспективы развития деревянного домостроения с использованием оцилиндрованных бревен. Леса России. Материалы второй международной научно-технической конференции. Том 3 / Под ред. В.М. Гедьо. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017 – с. 110 – 113.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 212.220.03 или прислать отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер. 5. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова.